



Національний університет  
**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
та природокористування

**Український державний університет водного  
господарства та природокористування**

***О.А. Сиротинський***

***Основи автоматизації  
проектування машин***



**РІВНЕ - 2003**

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів (лист № 14/18.2-849 від 22.04.2002р.).

Рецензенти: **С.В. Кравець**, д-р. техн.наук, професор, УДУВГП,  
**А.П. Власюк**, д-р. техн.наук, професор, УДУВГП.

**Сиротинський О.А.**

**С 40.** Основи автоматизації проектування машин.: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. - Рівне: УДУВГП, 2003.- 252 с.: іл. 185.

**ISBN**

У навчальному посібнику автор намагався систематизувати основні відомості про сучасні системи автоматизованого проектування (САПР) в машинобудуванні та теплоенергетиці. Розглянуто основні функціональні можливості систем: автоматизованого проектування КОМПАС-5 для Windows; управління проектно-конструкторською документацією КОМПАС-МЕНЕДЖЕР; параметричного твердотілого моделювання: важкого класу Unigraphics, автоматизованого проектування високого рівня Pro/ENGINEER; середнього класу Solid Edge та SolidWorks; управління технологічною підготовкою виробництва: програмування обробки на станках з ЧПУ ГеММа-3D; автоматизованого проектування технологічних процесів АВТОПРОЕКТ 8.1; автоматичної підготовки керуючих програм для 3/4 -координатної фрезерної обробки на верстатах з ЧПУ PowerMILL 2; документообігу підприємства DOCS Open; електронного документообігу для робочих груп і невеликих підприємств RxEDM; автоматизованого моделювання ливарних процесів ПОЛИГОН; інженерні розрахункові додатки CAD/CAM/CAE- систем.

**УДК 681.3**  
**ББК 32.97**

**ISBN**

© О.А. Сиротинський, 2003



## ПЕРЕДМОВА

За останні три роки в Україні намітилась позитивна тенденція розширення галузі машинобудування. Розробляється та впроваджується у виробництво багато зразків нової техніки, в тому числі світового рівня. Для підвищення конкурентноздатності вітчизняної техніки необхідна постійна робота, спрямована на зниження витрат виробництва, підвищення продуктивності праці, скорочення термінів розробки нових виробів. Це пов'язано з:

- надзвичайно жорсткою конкуренцією у виробництві практично всіх видів продукції, яка змушує виробників випускати нові товари з підвищеною якістю в мінімально стиснуті терміни та з мінімально можливою собівартістю;
- скороченням життєвого циклу виробу, що призводить до необхідності розробляти й впроваджувати нові модифікації товарів з ускладненим дизайном, що практично неможливо без застосування найновітніших технологій комп'ютерного моделювання як самих виробів, так й інструментального устаткування для їх виробництва;
- появою нових методик проектування та виготовлення виробів (паралельний інженеринг, технології швидкого прототипування тощо) зумовлює зміщення акцентів в сторону виготовлення, стираючи границю між CAD та CAM (проектування для виготовлення);
- ускладненням металорізючого обладнання, що випускається сучасною промисловістю, ріст долі верстатів з ЧПУ, раціональне використання яких неможливе без застосування сучасних CAD/CAM систем.

В цілому, зазначені проблеми вимагають від спеціалістів підприємства орієнтуватися та оперувати значними об'ємами інформації, що породжує значні труднощі при використанні традиційних “паперових” інформаційних технологій. Окрім цього, позиції спеціалістів, що забезпечують концепцію виробу, його зовнішній вигляд, технологічність та ін., в значній мірі суперечливі і, як правило, вимагають тривалого процесу узгоджень та оптимізації, до якого залучаються не тільки спеціалісти відповідальні за ту чи іншу ділянку роботи, але й спеціалісти керівної ланки, в обов'язок яких входить вирішення назрілого конфлікту. І нерідко в схожих випадках в жертву приноситься зовнішній вигляд виробу. Та й ні для кого не є секретом, що для більшості виробів вітчизняного виробництва використовуються розробки 10-, а то й 20-літньої давності. Якщо ж нашим підприємствам нічого буде протиставити товарам, що активно поступають з-за кордону, то ми не тільки не зможемо вийти на світовий ринок, але й втратимо свій власний.

Коли мова йде про витрати, керівників більшості промислових підприємств у першу чергу хвилює безпосередньо виробництво: заготівельне, механообробне, штампувальне, складальне. Це і зрозуміло - саме там, на виробництві, виготовляється та сама продукція, що згодом повинна бути продана з одержанням бажаного прибутку. Саме у виробництво насамперед

направляються кошти, що виділяються на розвиток підприємства - на впровадження нових прогресивних технологій, закупівлю сучасного високоефективного устаткування, проведення заходів щодо підвищення якості.

При цьому часто виявляються незаслужено забутими підрозділи, у яких народжується сам виріб - конструкторські і технологічні служби. А саме в цих підрозділах на стадії розробки часто виникають причини тих проблем, що потім виявляються у виробництві. Недостатня оснащеність проектно-конструкторських підрозділів сучасними передовими технологіями проектування призводить до недостатньої проробки конструктивних і технологічних рішень, що потім обертається втратами і витратами на стадії виготовлення.

Ще кілька років тому назад аналітична компанія Gardner Group провела оцінку вартості виправлення однієї-єдиної помилки на різних стадіях підготовки виробництва:

<b>\$1</b>	<b>Концептуальне проектування</b>
<b>\$10</b>	<b>Конструкторська проробка виробу</b>
<b>\$100</b>	<b>Виготовлення макету виробу</b>
<b>\$1 000</b>	<b>Проектування технологічного устаткування</b>
<b>\$10 000</b>	<b>Виготовлення оснастки</b>
<b>\$100 000</b>	<b>Випуск установочної серії</b>
<b>\$1 000 000</b>	<b>Серійне виробництво</b>

І нерідко трапляється й так, що сучасне дороге устаткування, закуплене за рубежом і коштує сотні тисяч доларів, виявляється недостатньо завантаженим або використовується неефективно через те, що доводиться по декілька разів вносити зміни в конструкцію виробу або технологію його виготовлення, усуваючи помилки, допущені на стадії проектування.

Єдиний реальний спосіб удосконалення роботи конструкторів і технологів на підприємстві в даний час тільки один - застосування сучасних комп'ютерних технологій проектування і конструювання. Вони якраз і дозволяють:

- скоротити терміни розробки та запуску в серійне виробництво виробів та їх модифікацій;
- зробити їх випуск максимально ефективним з точки зору виробництва;
- добитися того, щоб в підсумку продукція, що випускається, виявилася максимально дешевою і одночасно відповідала всім вимогам найприскіпливіших споживачів.

При цьому витрати на автоматизацію праці співробітників конструкторського чи технологічного бюро непорівнянні з витратами на автоматизацію виробництва, а реальний економічний ефект може бути дуже значним. До розуміння цього факту приходить усе більше число керівників і спеціалістів, що працюють у промисловості.



### Огляд ринку систем САПР

На сучасному ринку систем автоматизованого проектування (САПР або CAD/CAM/CAE; CAD — Computer-Aided Design, CAM — Computer-Aided Manufacturing, CAE — Computer-Aided Engineering) налічується значна кількість найрізноманітніших продуктів, більш менш вартих уваги. Існуючі на ринку системи САПР/АСТПП можна умовно розділити на три класи (рис.1):

- системи “важкого” класу
- системи “середнього” класу
- системи “легкого” класу



Рис.1. Класифікація систем САПР/АСТПП

До класу “важких” систем слід віднести інтегровані (повнофункціональні) системи, такі як Unigraphics, EUCLID, PROEngineer, CATIA та інші. Ці системи дозволяють отримати повний цикл автоматизації виробництва, який охоплює всі етапи – від конструкторських розробок до випуску гото-

вої продукції. Ці системи чудово підходять для моделювання виробів довільної складності, для створення збірних конструкцій.

Як правило, ці системи підтримують параметричне моделювання, що дозволяє отримувати кілька варіантів виробу, що створюється шляхом зміни параметрів (розмірів). Більшість систем цього класу зберігають повну асоціативність між модулями системи, тобто креслення отримані в рамках системи повністю асоціативні з просторовою моделлю, і довірливі зміни в моделі автоматично змінюються в кресленні і навпаки. Модульність таких систем дозволяє впроваджувати їх поетапно або ж створювати робочі місця, орієнтовані на цілком визначений клас задач проектування. В більшості випадків, “важкі” системи є відкритими і дозволяють створювати свої власні прикладні програми. Зазначений факт грає не останню роль, якщо підприємство, що впроваджує таку систему, вже володіє своїми власними розробками, які успішно використовувались раніше. До недавнього часу ці системи працювали виключно на потужних RISC-станціях, таких як Silicon Graphics, HP, SUN, DEC-Alpha. Останнім часом це правило стало вже винятком, і багато з фірм-розробників пропонують свої рішення на ПК під керуванням операційної системи Windows NT.

Для більш економічного вирішення таких завдань були створені відносно дешеві системи, спроможні оптимізувати співвідношення “ціна-якість”. Цей клас представлений групою функціонально-незалежних продуктів. Вони дозволяють вирішити одну окрему взятую задачу підприємства.

Системи цього класу здебільшого випускаються самими розробниками базової системи моделювання або їх промисловими партнерами. До цього класу слід віднести Solid Edge, Mechanical Desktop, Pro/JUNIOR, PRELUDE, GENIUS Desktop, Design-Space, Dinamic Designer Motion, Moldflow, SolidWorks, SURFCAM, HyperMill, PowerMILL та інші. Технічним забезпеченням для функціонування систем середнього класу, як правило, є обчислювальні машини з процесорами класу Pentium під керуванням операційних систем Windows NT або Windows 95.

До класу “легких” систем можна віднести системи, що призначені насамперед для випуску конструкторської документації. Такі системи, в більшості випадків, працюють в режимі електронного кульмана і дозволяють створювати хороші креслення. Безумовно, маючи в своєму розпорядженні засоби, які дозволяють використовувати фрагменти раніше створених креслень, ці системи дозволяють прискорити випуск конструкторської документації. Такі системи інколи постачаються з засобами 3-вимірного геометричного моделювання, а також мають цілий ряд прикладних модулів, розроблених на їх базі. Працюють такі системи на ПК. До цього класу можна віднести такі системи як AutoCAD, CADDY, CADkey, TopCAD, КОМПАС та багато інших.

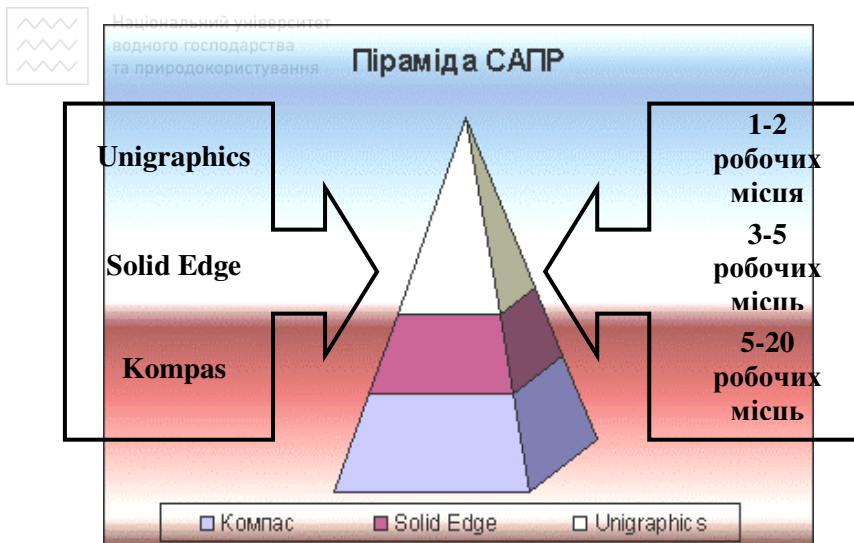


Рис.2. Піраміда САПР

### Поетапна автоматизація підготовки виробництва

Досвід українських підприємств, що використовують САПР важкого класу, показав економічну ефективність їх застосування, але розширенню використання таких систем перешкоджає висока вартість робочих місць. З іншої сторони на підприємствах, що експлуатують САПР тільки низької вартості, все більше відчувається обмеженість їхніх функціональних можливостей. Тому на багатьох підприємствах, які оснащені, як системами важкого класу, так і системами легкого класу, виникнула проблема придбання САПР середнього класу, яка змогла б реалізувати частину функцій існуючих САПР.

З огляду на специфіку наших умов, пропонується реалізація паралельного проектування і підготовки виробництва послідовним освоєнням комплексу взаємозв'язаних САПР трьох рівнів із різноманітною кількістю робочих місць на кожному з них. Не слід вважати, що на основі будь-яких систем можна створити таку ієрархію. Кращим рішенням реалізації взаємозв'язку САПР різних рівнів є використання прямого інтерфейсу, тому що стандартні формати не завжди забезпечують обмін даними без перекручувань. В даний час на українському ринку є лише один такий "тандем" інтегрованих систем Unigraphics і Solid Edge фірми Unigraphics Solutions Inc. , що працюють на єдиному геометричному ядрі – Parasolid.

Ці системи в комплексі із запропонованими САПР легкого класу забезпечують можливість поетапної автоматизації підготування виробництва. У якості системи нижнього рівня пропонується використовувати КОМПАС.

КОМПАС, разом із іншими графічними вітчизняними пакетами, зумів відвоювати значну частину ринка у безкоштовно копійованого AutoCAD, вигідно відрізняючись від свого знаменитого західного конкурента простою, добірністю і невисокою вартістю при високій функціональній потужності орієнтованих на ЄСКД креслярсько-графічних засобів, а від своїх вітчизняних співбратів - комплексністю, більш високою ефективністю роботи в режимі “електронного кульмана” і оригінальними засобами розробки додатків.

Основні переваги запропонованого комплексу, полягають в наступному:

- прямий інтерфейс між системами Unigraphics та Solid Edge
- можливість безпаперового обміну інформацією між компонентами комплексу САПР (від конструкторів до технологів) без втрат або перекручування даних;
- простота впровадження й освоєння комплексу (мінімум типів систем і устаткування).
- у комплексі задіяні САПР, що займають лідируючі позиції на ринку.
- системи взаємозв’язані, що дозволяє поступово нарощувати кількість робочих місць і об’єднувати їх у єдиний комплекс.
- комплекс має мінімальну вартість, забезпечуючи всі необхідні підприємству функції.
- можливість реалізації параметризованих конструкцій і методів паралельного проектування і виробництва, швидкої оцінки витрат і термінів підготовки виробництва.

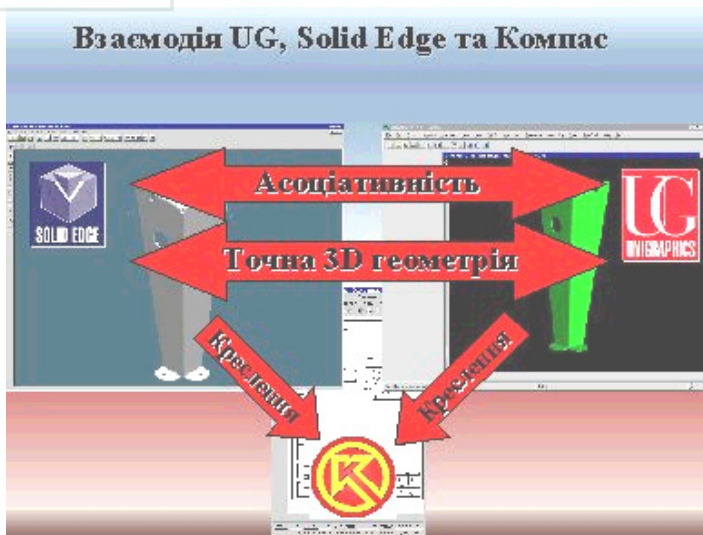


Рис.3. Схема взаємодії систем Unigraphics Solid Edge та Компас



Крім широкого впровадження САПР у виробництво в останній час спостерігається значна підтримка розробниками САПР вищих навчальних закладів при впровадженні систем в учбовий процес. Підприємства, як користувачі САПР зацікавлені в поповненні конструкторських та технологічних бюро випускниками ВУЗів, які оволоділи навиками роботи в різноманітних системах.

У навчальному посібнику, вперше в Україні, автор намагався систематизувати основні відомості про сучасні системи автоматизованого проектування (САПР) в машинобудуванні: автоматизованого проектування КОМПАС-5 для Windows; управління проектно-конструкторською документацією КОМПАС-МЕНЕДЖЕР; параметричного твердотілого моделювання: важкого класу Unigraphics, автоматизованого проектування високого рівня Pro/ENGINEER; середнього класу Solid Edge та SolidWorks; управління технологічною підготовкою виробництва: програмування обробки на станках з ЧПУ ГеММа-3D; автоматизованого проектування технологічних процесів АВТОПРОЕКТ 8.1; автоматичної підготовки керуючих програм для 3/4-координатної фрезерної обробки на верстатах з ЧПУ PowerMILL 2; документообігу підприємства DOCS Open; електронного документообігу для робочих груп і невеликих підприємств RxEDM; автоматизованого моделювання ливарних процесів ПОЛИГОН; інженерні розрахункові додатки CAD/CAM/CAE- систем.

Теоретичний матеріал посібника супроводжується чисельними ілюстраціями та практичними прикладами, які допоможуть спеціалістам в ознайомленні, виборі та подальшій роботі з CAD/CAM/CAE/PDM- системами.

Посібник написаний у доступній формі і буде корисним для студентів машинобудівних спеціальностей, аспірантів, наукових та інженерно-технічних працівників.

Борисенко О. Й.  
Лошинський М. М.  
Музичук Ю. О.



## ВСТУП

Для останньої чверті XX століття стало характерним фактором різке прискорення науково-технічного прогресу на основі електронізації та комплексної автоматизації народного господарства, широкого впровадження засобів обчислювальної техніки в усі його сфери з метою значного підвищення продуктивності праці, ефективності та якості виробів.

Однією з головних задач комплексної автоматизації народного господарства є створення систем автоматизованого проектування (САПР) та технологічної підготовки виробництва. Основною причиною створення САПР стала все більша невідповідність між вимогами скорочення термінів, підвищення якості, зниження вартості проектних робіт і старими методами проектування.

**Проектування** - це процес складання опису, необхідного для створення ще не існуючого об'єкту, шляхом перетворення його вихідного (первинного) опису в кінцевий опис на основі виконання комплексу робіт пошукового, розрахункового та конструкторського характеру [1].

**Автоматизоване проектування** - це проектування, при якому окремі перетворення описів об'єкта та алгоритму його функціонування, або алгоритму процесу, а також представлення опису на різноманітних мовах здійснюється взаємодією людини і ЕОМ [1].

**Система автоматизованого проектування** - це організаційно-технічна система, що виконує автоматизоване проектування, - комплекс засобів автоматизації проектування, взаємопов'язаних з відповідними підрозділами проектної організації або колективом спеціалістів (користувачем системи), які виконують автоматизоване проектування [1-6].

В 60-х роках американськими вченими згідно завдання ракетно-космічних фірм були розроблені основні теоретичні передумови створення проекту "IPAD", який включає комплексне конструювання, технологічну підготовку виробництва та виготовлення виробів з використанням ЕОМ. Проект знайшов своє втілення в космічному центрі в Ленглі при створенні системи "Pilot/IPAD", за допомогою якої здійснювалось проектування літака з водневим двигуном та пасажирського гіперзвукового літака. Проект виявився настільки ефективним, що основні поняття "IPAD" дійшли до наших днів і лягли в основу наступних систем: системи **CAD (Computer Aided Designing)** - проектування за допомогою ЕОМ; системи **CAM (Computer Aided Manufacturing)** - виробництво з централізованим управлінням від ЕОМ; системи **CAD/CAM** - автоматизоване проектування та виготовлення деталей з використанням ЕОМ; системи **CAE (Computer Aided Engineering)** - конструювання, що ведеться комплексно (включаючи викреслювання деталей та вузлів), технологічна підготовка виробництва та виготовлення деталей із використанням ЕОМ. При цьому системи **CAE** включають якісне забезпечення конструктора необхідними інформаційно-технологічними засо-

бами й припускають у якості складових частин підсистеми **CAD і CAM** [2]. У бувшому СРСР поняття **CAD-** “системи машинного проектування” було практично ідентичне з поняттями “автоматизоване проектування” та “системи автоматизованого проектування”, або САПР, а поняття **CAM** відповідало поняттям “автоматизовані системи управління технологічною підготовкою виробництва”, або АСУТП. Якщо умовно об'єднати ці два поняття, то можна прийти до систем **CAD/CAM-** “інтегрованих автоматизованих систем управління” (**ІАСУ**). Найвищим ступенем інтеграції, що включає гнучке автоматизоване виробництво (**ГАВ**) [2].

В наш час на ринку програмних продуктів знаходиться багато пакетів САПР. Перед вищою школою постає питання які системи автоматизованого проектування та управління технологічною підготовкою виробництва впроваджувати в навчальний процес, тобто які системи в майбутньому будуть використовуватись випускниками під час їх роботи на вітчизняних підприємствах.

За минулі декілька років в Україні практично не залишилося підприємств і організацій, які не застосовували б технології САПР хоча б в обмежених масштабах (на двох-трьох робочих місцях конструктора чи технолога).

Слід зазначити, що початок 90-х років ознаменувався лавиноподібним збільшенням об'єму інформації про системи CAD/CAM і різне апаратне забезпечення.

У цей час закінчувалася ера обмежень КОКОМ на експорт у Радянський Союз, а потім у країни СНД сучасного устаткування та програмних продуктів.

На світовому ринку САПР найбільш відомими є провідні світові виробники CAD/CAM/CAE технологій, такі як Autodesk, Bentley, Computer-Vision, IBM, Intergraph, SDRC, Unigraphics Solutions, Parametric Technology Corporation (PTC). Ці компанії, створені в різний час, займають ніші ринку, що закріпилися за ними, й відрізняються за функціональними можливостями систем та фінансово-економічними показниками: річним оборотом, прибутковістю, динамікою розвитку, кількістю нових версій, що випускаються за рік, ростом числа користувачів [7].

З іншого боку, саме наприкінці 80-х - початку 90-х років упевнено заявили про себе молоді незалежні російські фірми - розроблювачі CAD/CAM, що утворилися в основному з висококласних фахівців елітних підприємств російської “оборонки” [8].

Вони буквально ввійшли на ринок САПР, довівши до комерційного стану свої програмні продукти, що до того часу були широко відомі тільки у вузькому колі підприємств їхньої галузі.

І виявилось, що російські розробки цілком конкурентноздатні стосовно західних систем, а за багатьма параметрами їх переважають.

Як показує практика, навіть в сьогоденніших непростих економічних



умовах постачальники систем САПР можуть запропонувати зручні, ефективні та надійні рішення, цілком прийнятні за вартістю для будь-якого підприємства.

На сучасному ринку САПР найбільш поширеними є наступні програмно-апаратні рішення:

- параметрична креслярсько-конструкторська система **КОМПАС-5** для **Windows** з широким набором стандартних бібліотек і конструкторських додатків, а також інструментальними засобами їхньої розробки;
- провідна у світі технологія твердотілого моделювання система важкого класу **Unigraphics** для гібридного моделювання, повного контролю за складними поверхнями в промисловому проектуванні та випуску креслярсько-конструкторської документації;
- система автоматизованого проектування високого рівня **Pro/ENGINEER**;
- система твердотілого параметричного моделювання середнього класу **Solid Edge**, створена компанією **Unigraphics Solutions Inc**;
- система параметричного твердотілого конструювання середнього класу **Solid Works** з інтегрованими додатками (система підготовки програм багатокоординатної обробки деталей на верстатах з ЧПУ **PowerMill**, розрахункові системи методом кінцевих елементів (МКЕ) **MSC/InCheck**, **DesignWorks**, **COSMOSWorks**, системи кінематичного та структурного аналізу тощо);
- системи управління інженерним документообігом підприємств і робочих груп на базі програмного забезпечення **КОМПАС-МЕНЕДЖЕР 5**, **DOCS Open** і **PartY**, інтегровані з **КОМПАС**, **SolidWorks** і пакетами векторизації;
- система програмування обробки на станках з ЧПУ **ГЕММА-3D**;
- інтегровані з **КОМПАС-5** системи обробки сканованих зображень **Spotlight** і **Vectority**, які забезпечують автоматичне переведення паперових креслень в електронний вид (векторизацію) та їх подальше редагування.

Вибираючи програмні продукти користувачу САПР необхідно оцінювати не тільки функціональні можливості кожної окремої системи. Важливим фактором є те, щоб різні програмні пакети добре взаємодіяли один з одним, а постачальник був надійним і міг надати кваліфіковану допомогу та підтримку на всіх стадіях впровадження - від вибору оптимальної конфігурації робочих місця до післягарантійного обслуговування та різноманітних змін.

Крім того, в наш час, важлива підтримка розробником САПР вищих навчальних закладів при впровадженні систем в навчальний процес, так як користувачі САПР зацікавлені в поповненні конструкторських та технологічних бюро випускниками ВУЗів, які оволоділи навиками роботи в різ-



Одним з провідних розробників і постачальників систем автоматизованого проектування на ринку країн СНД є Акціонерне Товариство **АСКОН**, яке працює на ринку САПР починаючи з 1989 року. Офіси фірми розміщені в Санкт-Петербурзі, Москві та Коломні Московської області (Росія).

**АО АСКОН** розробило систему автоматизованого проектування та управління технологічною підготовкою виробництва **КОМПАС**, яка призначена для автоматизації проектно-конструкторських і технологічних робіт та забезпечення високоефективної обробки та випуску креслярсько-конструкторської документації в машино-, приладобудуванні та будівництві. Окрім цього, система може використовуватись при розробці будь-яких видів графічної документації (схем, ескізів, планів і т.д.) тощо [7].

Запропоновані **АО АСКОН** рішення охоплюють ключові напрямки конструювання та проектування, підготовки та випуску креслярсько-конструкторської документації будь-якого профілю, технологічної підготовки виробництва, а також дозволяють організувати на будь-якому за розміром підприємстві інтегроване середовище управління інженерним документобігом.

Широкому впровадженню систем **КОМПАС** у навчальний процес сприяє розумна маркетингова політика підтримки освіти, яка цілеспрямовано проводиться компанією **АСКОН**. Програмне забезпечення **КОМПАС** поставляється в ВУЗи за самими пільговими цінами, при цьому зберігається фірмова технічна підтримка та гарантійний супровід. **АСКОН** забезпечує перепідготовку викладачів для використання нових комп'ютерних технологій у викладанні базових і спеціалізованих дисциплін і курсів, а також надає всебічну допомогу у формуванні навчальних центрів по програмних продуктах **КОМПАС** на базі ВУЗів [8].

Автор висловлює щире подяку Центру САПР (м.Львів) та особисто кандидатам фізико-математичних наук, доцентам університету “Львівська політехніка” Борисенку Олегу Йосиповичу та Музичуку Юрію Олександровичу та керівнику напрямку САПР фірми **INT** (м. Київ) Лошинському Михайлу Михайловичу за надані матеріали та поради, які були використані при написанні даного навчального посібника.



## 1. ПАРАМЕТРИЧНА КРЕСЛЯРСЬКО-КОНСТРУКТОРСЬКА СИСТЕМА КОМПАС-5 ДЛЯ WINDOWS

### 1.1. Загальні відомості про САПР “КОМПАС-5”

Створення CAD/CAM-системи КОМПАС-5 АО “АСКОН” було обумовлено якісними змінами в сфері високих технологій, появою високопродуктивних персональних комп'ютерів, випуском операційних систем Windows NT і Windows 95 та масовим переходом підприємств на методи автоматизованого проектування [8].

КОМПАС-5 – це система нового покоління, що призначена для виконання проектно-конструкторських робіт в різноманітних галузях. Вона є легкою в освоєнні та зручною в роботі, й при цьому її вартість, є прийнятною для комплексного оснащення вітчизняних підприємств, у тому числі середніх і малих. Система розроблялася для персональних комп'ютерів із процесором 486 і вище, оснащених операційною системою MS Windows.

При створенні КОМПАС-5 в повній мірі було використано багатий досвід в області конструкторської графіки, інструментальних засобів розробки додатків, прикладних проблемно-орієнтованих САПР, а також враховано новітні тенденції розвитку цього сектора програмного забезпечення (користувачський інтерфейс, взаємодію різних додатків Windows, прийоми роботи тощо). При створенні якісно нової версії розробниками враховувались побажання численних користувачів попередніх версій КОМПАСу, спрямовані на підвищення зручності роботи з системою та розширення її можливостей.

КОМПАС-5 призначений для розв'язання масових задач “легкого” класу, таких як двовимірне проектування та конструювання, швидке підготування та випуск найрізноманітнішої креслярсько-конструкторської документації, створення технічних текстово-графічних документів.

КОМПАС-5 базується на високоефективній конструкторській графіці з досконалими технологіями проектування та інструментальними засобами, які відповідають самим сучасним вимогам. Він однаково придатний для машинобудування, приладобудування, будівництва та архітектури. В системі реалізовані новітні технології моделювання, конструювання та випуску креслярсько-конструкторської документації, що дозволяють різко скоротити терміни розробки нової продукції, підвищити її якість та конкурентоздатність [8].

КОМПАС-5 створювався як повноцінний Windows-додаток, тому в ньому присутні всі ознаки, знайомі завдяки іншим програмам.

Система дозволяє одночасно завантажувати для роботи декілька документів і відчиняти кожний із них у декількох вікнах. Кількість одночасно відкритих документів обмежується тільки ресурсами комп'ютера. Доступ

до команд системи здійснюється як через традиційні випадючі меню, так і через кнопкові інструментальні панелі. Склад цих панелей користувач може змінювати за власним бажанням безпосередньо під час сеансу роботи. В системі передбачена спеціальна панель швидкого керування, на якій можна розташувати кнопки команд, які часто викликаються. Користувач має змогу створювати власні кнопкові панелі та підключення зовнішньої бібліотечної функції (тобто функції зовнішнього додатку до КОМПАС-5) у вигляді командної кнопки.

КОМПАС-5 оснащений розвинутою структурованою системою Допомоги, що дозволяє одержати детальну підказку в будь-якому режимі роботи й за будь-якою дією. Крім того, використовується технологія ярликів-підказок, коли при зупинці курсора над якоюсь кнопкою чи керуючим елементом з'являється коротка інформація про цей елемент. Ці засоби дозволяють прискорити освоєння пакету новачками й полегшити роботу з ним досвідченим користувачам.

Для КОМПАС-5 є характерними деякі особливості інтерфейсу. По-перше, це широкий вибір інструментів панорамування зображення документу, в тому числі додаткові збільшувальні вікна. По-друге, користувач має можливість переходити до попередніх масштабів відображення, а потім швидко повертатися до поточного масштабу (тобто використовувати історію відображення документу в різних масштабах). По-третє, важливою особливістю є відображення спеціального рядка параметрів, який з'являється на екрані після звертання до команд побудови чи редагування та дозволяє гнучко управляти будь-якими параметрами об'єкту (наприклад, довжиною й кутом нахилу відрізка, радіусом дуги, порядком сплайну тощо).

При розробці КОМПАС-5 були враховані вимоги, які користувачі висувають до професійного програмного забезпечення САПР у плані надійності та цілісності результатів роботи. В системі реалізовано декілька різноманітних режимів резервного копіювання завантажених для роботи документів - автоматичне зберігання через заданий інтервал часу, зберігання вихідної копії, а також попередньої та "дзеркальної" копій документа (наприклад, на сервері). Передбачено керування правами доступу до відкритих документів і службових файлів (таким як бібліотеки стилів або атрибутів), що дозволяє уникнути колізій при одночасній роботі декількох користувачів у локальній мережі. Система також надає можливість включити вмонтовану систему контролю за відкритими файлами, яка протягом сеансу роботи буде повідомляти про будь-які їхні зміни, наприклад, виконані користувачем віддаленого комп'ютера.

КОМПАС-5 підтримує скасування виконаних дій на довільне число кроків і їх повтор. Це дозволяє відмовитися від послідовності помилкових операцій.

При створенні креслень у КОМПАС-5 користувачу доступні найскладніші геометричні побудови на площині з використанням таких об'єктів, як

NURBS-криві, криві Без'є, еквідистантні криві, натуральні еліпси, що дуже важливо для користувачів, що працюють із точною геометрією (наприклад, в авто-, авіа- та суднобудівній промисловості). Підтримується гнучке керування стилями об'єктів, які створюються: передбачені всі необхідні для побудови креслення стандартні типи ліній, а також реалізована можливість створення та застосування власних стилів користувача.

Автоматичний і напівавтоматичний режими створення та редагування штриховки роблять оформлення розрізів і перетинів простим і зручним. Користувач може використовувати стандартні (машинобудівельні та будівельні) стилі штриховок і в разі необхідності створювати власні стилі.

Для ефективної роботи зі складним (наприклад, складальним) кресленням можна задавати необмежену кількість поименованих локальних систем координат, а також використовувати сітку з різними кроками по координатних осях. Системою підтримується динамічний виклик об'єктних прив'язок, а також вимірювання будь-яких геометричних параметрів на кресленні за допомогою інструменту "геометричний калькулятор".

Механізм об'єктних прив'язок дозволяє визначити координати характерної точки, не встановлюючи курсор строго в дану точку. В якості об'єктів прив'язки використовуються: точка, найближча до поточного положення курсору, точка на перетині двох кривих, середня точка кривої тощо. Прив'язки можна відслідковувати динамічно, тобто візуально відображаючи на екрані захоплення тієї чи іншої точки об'єкта при переміщеннях курсору, або ж статично, тільки в момент фіксації точки. Допускається оперативне керування діючим набором прив'язок і варіантами їхнього відображення на екрані в будь-який момент побудови. Наприклад, можна включити спеціальну підказку, що буде з'являтися поруч із курсором, інформуючи про те, яка з прив'язок спрацювала в даний момент.

Для ефективного використання КОМПАС-5 рекомендується наступне апаратне забезпечення:

- комп'ютер із процесором не нижче DX4-100 і 16 Мб оперативної пам'яті;
- графічний адаптер SVGA не менше чим із 1 Мб відеопам'яті;
- біля 40 Мб на жорсткому диску для встановлення;
- операційні системи Windows 95 або Windows NT 4.0;
- привід CD-ROM для встановлення дистрибутиву системи.

Крім автономного застосування в якості системи легкого класу, КОМПАС-5 може ефективно використовуватися в складі комплексних рішень проєктування та підготовки виробництва, шляхом інтеграції в єдиний комплекс з наступними продуктами:

- **Vectory і Spotlight** (або їхніми спеціальними версіями КОМПАС-Vectory і КОМПАС-Spotlight) для векторизації сканованих зображень і переведення старих паперових архівів в електронний вид;
- **DOCS Open і TechnoDOCS** для автоматизації інженерного документа



- **RxEDM** для автоматизації інженерного документа робочих груп і великих підприємств;
- **Unigraphics** - системою твердотілого моделювання;
- **SolidEdge** для тривимірного конструкторського проектування.

Для високопродуктивної роботи рекомендується наступна конфігурація: Pentium 100 і вище, 32 Mb RAM, монітор 17" і більше, Windows 95/98 або Windows NT 4.0 [8].

## 1.2. Склад КОМПАС-5

До складу комплексу КОМПАС-5 входять потужний креслярсько-графічний редактор КОМПАС-ГРАФІК-5 (рис.1.1), інструментальні засоби розробки додатків (комплект API), широкий набір готових бібліотек, що містять типові конструктивні елементи і зображення, конструкторські додатки до КОМПАС-5 для проектування деталей типу тіл обертання, пружин і автоматичного оформлення креслень на них, а також утиліти обміну з іншими CAD/CAM системами через стандартні формати DXF і IGES [8-10].

Спеціалізована модель дозволяє працювати з кресленням як з документом, який складається з декількох листів. Кожний лист може складатись з окремих видів (проекцій, розрізів, перетинів), штампа та технічних вимог. У свою чергу, вид можна розбивати на шари (не більше 255).

**1.2.1. Креслярсько-конструкторський редактор КОМПАС-ГРАФІК (версія 5)** є якісно новим продуктом в порівнянні з попередньою версією 4.x. Він оснащений великою кількістю нових функцій і можливостей. Однією з самих сильних сторін КОМПАС-ГРАФІК є повна підтримка ЄСКД. В ньому реалізовані всі типи лінійних, кутових, радіальних і діаметральних розмірів (включаючи нахилені розміри та розміри висоти), автоматичне проставлення допусків, підбір квалітету за заданими граничними відхиленнями, можливість гнучкого редагування рядків розмірного напису. Серед об'єктів оформлення креслення - всі типи шорсткостей, ліній виносок, позначень бази та допусків форми, лінії розрізу та перетину, стрілки погляду.

КОМПАС-ГРАФІК-5 забезпечує користувача всіма необхідними інструментами для редагування креслення, який має змогу швидко та зручно виконувати операції здвигу, повороту, масштабування, симетрії, копіювання, деформації, видалення, вирівнювання. Система підтримує перенос об'єктів через буфер обміну (Clipboard). Динамічне редагування параметрів дозволяє миттєво змінювати будь-який об'єкт креслення.

Вмонтований модуль розрахунку масо-інерційних характеристик дозволяє оперативнo обчислювати параметри спроектованої деталі чи зборки та полегшує пошук найбільш оптимального варіанту конструкції.

Підтримуються макроеlementи та поименовані групи об'єктів. Для зручного формування та зміни складального креслення можна використовувати

посилання на зв'язані з ним зовнішні фрагменти, що можуть зберігатися як в окремих файлах, так і в спеціальних бібліотеках фрагментів.

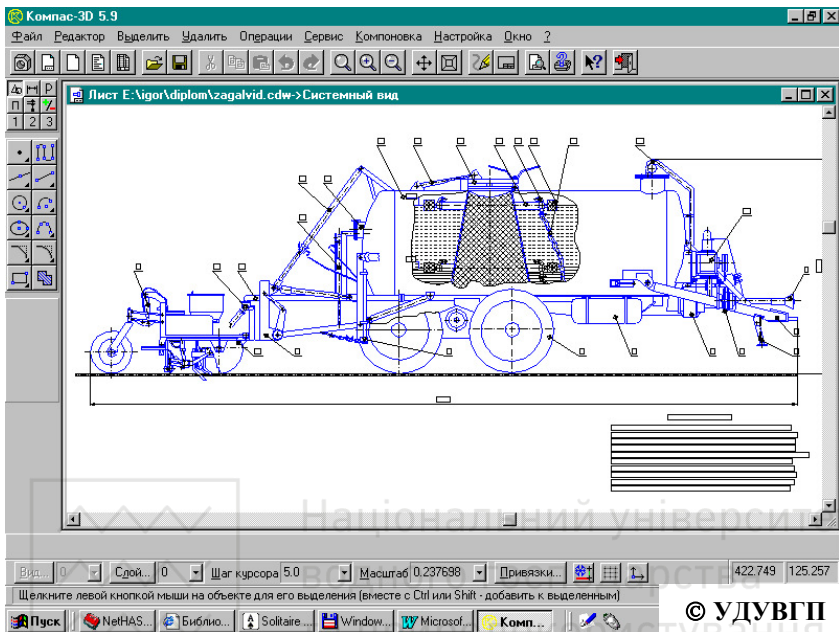


Рис.1.1. Робоче вікно КОМПАС-ГРАФИК

Користувач може визначити довільну кількість атрибутів для будь-якого об'єкта на кресленні для наступного швидкого пошуку цього об'єкта. Підтримуються системні та користувацькі атрибути з довільною структурою (одиначний, запис, таблиця). Система забезпечує зручну обробку, візуалізацію та редагування атрибутів.

Працюючи з КОМПАС-ГРАФИК-5, користувач може використовувати шрифти True Type або векторні (плотерні) шрифти при введенні та редагуванні написів. Можна задавати довільні параметри для будь-якої частини рядка тексту, керувати шрифтом, кольором, розміром і нахилом символів. Є засоби написання формул і дробів довільної вкладеності, а також універсальні засоби створення та редагування таблиць з фіксованою чи змінною структурою таблиці.

Значно полегшує оформлення креслярського документу так зване реалістичне заповнення графів штампу та тексту технічних вимог. Підтримуються стандартні та користувацькі типи основних написів. Система напівавтоматично розбиває технічні вимоги на сторінки, а також допускає розміщення їх довільним чином на полі креслення. Текст технічних вимог форматується автоматично. Для швидкого введення типових фрагментів

тексту можна використовувати готові ієрархічні шаблони.

Крім створення креслень, КОМПАС-ГРАФІК-5 дозволяє підготувати багатосторінкові документи в потужному вмонтованому текстовому процесорі. Він забезпечує автоматичне форматування й обробку тексту, нумерацію абзаців, створення та використання стилів, а також вставлення спеціальних символів, рисунків (креслень або фрагментів КОМПАС) і таблиць. Документ можна розмістити на листах різноманітних форматів, використовуючи оформлення рамкою та основним написом.

Друкування документів може виконуватися на будь-яких типах пристроїв (принтерах або плотерах), які підтримуються Windows. Оригінальна технологія попереднього реалістичного перегляду дозволяє одночасно скомпонувати на листі та вивести на друк декілька документів. Забезпечується гнучке налагодження всіх параметрів друку. До складу системи входить спеціальна утиліта для розробки власних драйверів для пір'яних пристроїв.

КОМПАС-ГРАФІК- 5 має сучасний віконний інтерфейс, що відповідає стандартам Windows. Управління системою забезпечується за допомогою верхнього текстового меню, панелей кнопок, панелі швидкого управління. На відміну від багатьох інших систем САПР, підтримується одночасна робота з декількома документами, а також відображення кожного документу в декількох вікнах. Оформлення екрана кнопкових панелей і значення будь-яких параметрів системи можуть бути налаштовані безпосередньо під час сеансу роботи. Користувач може формувати власні кнопкові панелі, в тому числі підключаючи бібліотечну функцію в якості команди.

В КОМПАС-ГРАФІК- 5. користувачу надається широкий вибір засобів панорамування зображень (у тому числі додаткові збільшуючі вікна). Реалізовані вмонтований контроль моделі креслення та різноманітні режими резервного копіювання завантажених документів.

КОМПАС-ГРАФІК-5 забезпечує повну наступність з попередньою версією КОМПАС-4 для DOS. Всі креслення, що створені в попередніх версіях КОМПАС, можуть бути використані без будь-яких втрат інформації. Крім того, користувач може записати геометричну інформацію креслення КОМПАС-ГРАФІК-5 у форматі КОМПАС-4, а потім використовувати її при розробці керуючої програми в системі КОМПАС-ЧПУ.

При необхідності можна імпортувати в креслення інформацію з інших систем САПР, яка записана в поширених форматах DXF або IGES. Можна також експортувати креслення КОМПАС-ГРАФІК-5 в дані формати.

Завдяки тому, що КОМПАС-ГРАФІК-5 підтримує технологію OLE, користувач може легко вставити створені креслення в документи інших додатків Windows, наприклад, у Word або Excel. Для користувачів, що працюють над проектами разом із фахівцями інших підприємств, корисною виявиться утиліта перегляду, за допомогою якої можна ознайомитися з кресленнями на тих комп'ютерах, де не встановлений КОМПАС.





**1.2.2. Параметричні можливості в КОМПАС-ГРАФІК – 5.X.** Створення параметричних моделей можна здійснювати або шляхом програмування, або шляхом інтерактивного формування моделі безпосередньо при кресленні. В ряді CAD-систем можна креслити зображення з одночасним заданням закону побудови, який, однак, потім не можна чи дуже складно змінити у випадку помилки (швидше за все прийдеться вирізати всі побудови й починати заново). Можна також накладати обмеження (зв'язки) на об'єкти раніше накресленого зображення вузла чи деталі в будь-якому порядку, не притримуючись будь-якої жорсткої послідовності. У цьому випадку можлива будь-яка зміна моделі без необхідності повторних побудов. Саме така зручна та ефективна технологія параметризації реалізована в КОМПАС-ГРАФІК-5. Працюючи в параметричному режимі, можна накладати різноманітні розмірні (лінійні, кутові, радіальні та діаметральні) та геометричні (паралельність, перпендикулярність, дотик, належність точки до кривої, фіксація точки тощо) обмеження на об'єкти моделі (рис.1.2).

Ряд обмежень може бути визначений без явного введення числових значень (наприклад, умова дотикання двох кривих). Навпаки, такі обмеження, як радіус кола чи величина розміру можуть виражатись саме числовими значеннями. Параметри можуть бути задані за допомогою алгебраїчних рівнянь та змінних, що дає можливість легко та швидко встановлювати взаємозв'язки між параметрами.

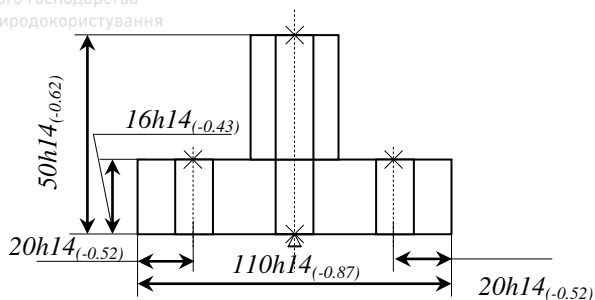
Відмінність параметричної моделі від звичайної полягає в тому, що в ній передбачені взаємозв'язки між об'єктами. Співпадання точок і положення точки на кривій параметризуються через виконання при вказанні даної точки прив'язки (глобальну або локальну), а умови паралельності, перпендикулярності та дотикання - у відповідних процесах введення об'єктів.

Додаткові взаємозв'язки та обмеження можна призначити об'єктам креслення в будь-який момент роботи над документом. Команди для призначення подібних зв'язків і обмежень знаходяться на окремій інструментальній панелі. Відповідно, у будь-який момент можна й скасувати обмеження для одного або декількох вибраних об'єктів.

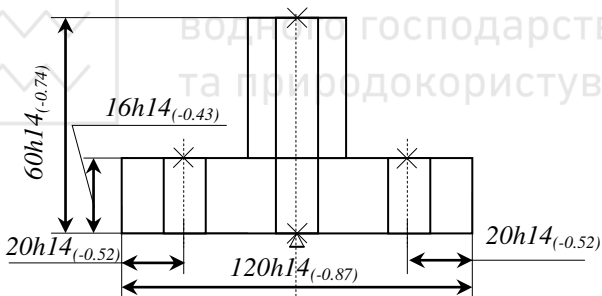
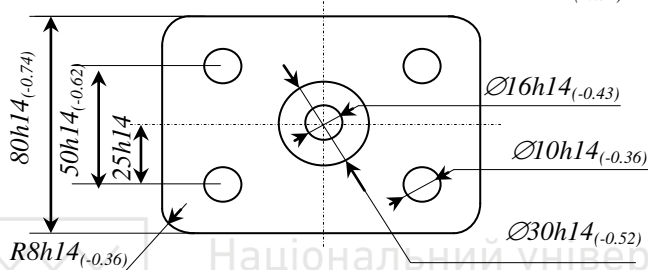
Починаючи з версії 5.4 КОМПАС-ГРАФІК підтримує параметричний режим роботи, що дає додаткові можливості та переваги при розробці та редагуванні різноманітної конструкторської документації. При цьому користувач завжди може вибирати в якому режимі йому зручніше працювати з кресленням - в параметричному чи звичайному.

При необхідності креслення чи фрагменти, створені в КОМПАС-ГРАФІК версії 5. 0-5. 3, можна буде перетворити в параметричні в версії КОМПАС-ГРАФІК- 5.4 (або з більш пізнішою версією пакету).

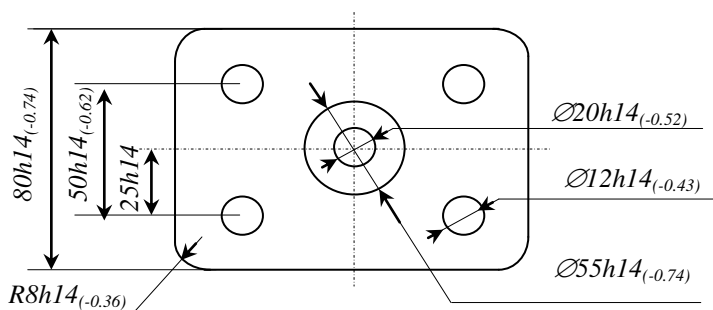




а)



б)



© АО АСКОН

Рис.1.2. Приклад параметризації об'єкту: а, б- відповідно до й після параметризації

### 1.2.3. Конструкторські додатки до КОМПАС-5 та набір бібліотек.

**1.2.3.1. Машинобудівна бібліотека (версія 5).** Машинобудівна бібліотека включає більше 200 параметричних зображень різноманітних типових елементів машинобудівних креслень - болтів, гвинтів, гайок і інших кріпильних деталей, підшипників, профілів, конструктивних місць, елементів з'єднань трубопроводів тощо (рис.1.3).

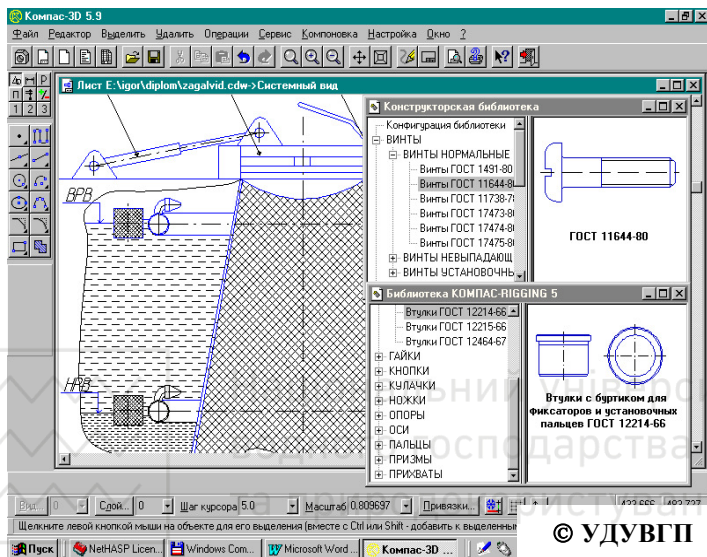


Рис.1.3. Робоче вікно КОМПАС-ГРАФІК з машинобудівною бібліотекою

Вибір параметрів із стандартного ряду значно спрощує проставлення елемента на кресленні та практично виключає помилки конструктора. В подальшому внесений в креслення елемент зберігається як єдине ціле, й конструктор може легко відредактувати його, двічі натиснувши лівою кнопкою миші на зображення елемента.

Бібліотека істотно скорочує затрати часу конструктора при розробці збірних і деталовальних машинобудівних креслень і забезпечує високу якість документації, що випускається.

Машинобудівна бібліотека (як і всі прикладні бібліотеки версії 5, описані нижче) працює в середовищі КОМПАС-ГРАФІК версії 5.

**1.2.3.2. Бібліотека елементів гідравлічних і пневматичних схем.** До бібліотеки включена велика кількість типових зображень блоків, вентилів, гідрозамків, дроселей, ємностей, клапанів тиску, кондиціонерів, насосів, зворотних клапанів, розподільників, засобів вимірювання, циліндрів та інших елементів (рис.1.4).

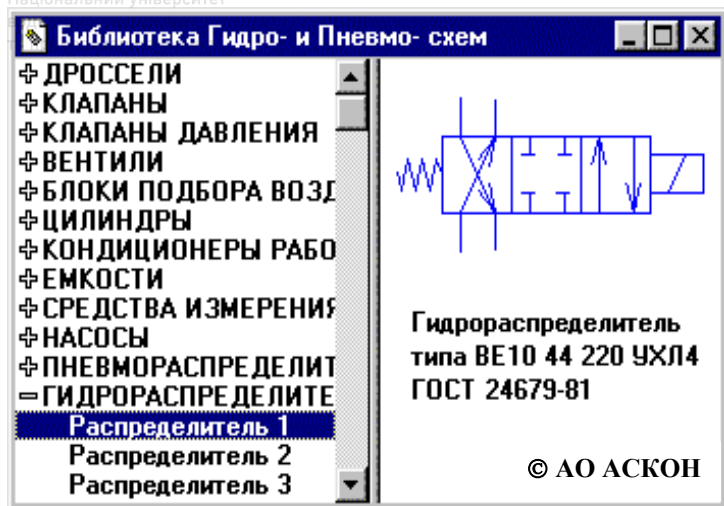


Рис.1.4. Робоче вікно КОМПАС-ГРАФІК з бібліотекою гідравлічних і пневматичних схем

**1.2.3.3. Бібліотека елементів електричних схем (версія 5).** Бібліотеку елементів електричних схем доцільно використовувати при побудові креслень електричних схем. Бібліотека включає вигляди діодів, індукційних елементів, джерел живлення, комутаційних пристроїв, конденсаторів, ламп, мікросхем, оптронів, акустичних і електровимірювальних пристроїв, п'єзоелементів, резисторів, реле, з'єднань, ліній зв'язку, теристорів, транзисторів, електродвигунів, електротермічних пристроїв та інших стандартних елементів (рис.1.5).

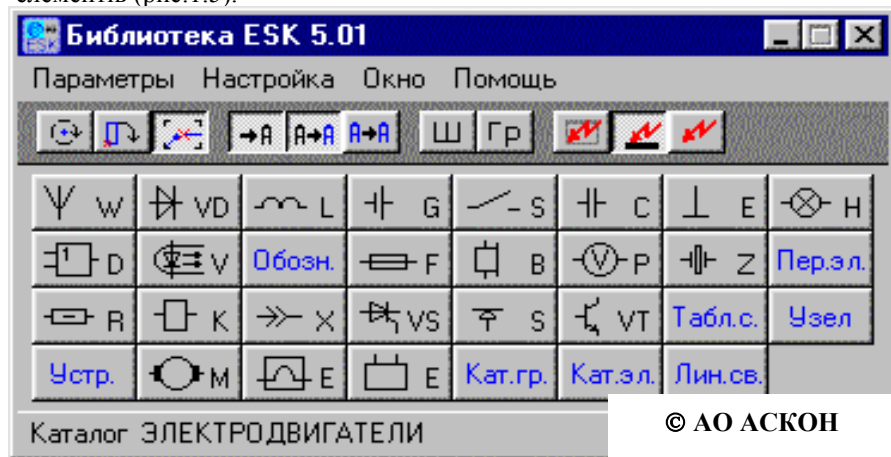


Рис.1.5. Робоче вікно КОМПАС-ГРАФІК з бібліотекою електричних схем

**1.2.3.4. Бібліотека елементів кінематичних схем (версія 5).** Використовується при побудові креслень різноманітних кінематичних схем. Бібліотека вміщує типові зображення кінематичних пар, ланок, гвинтів, гайок, кулачків, маховика, мальтійських і храпових механізмів, передач (зубчастих, пасових, фрикційних і ланцюгових), підшипників, пружин, штовхачів, шківів та інших елементів (рис.1.6).

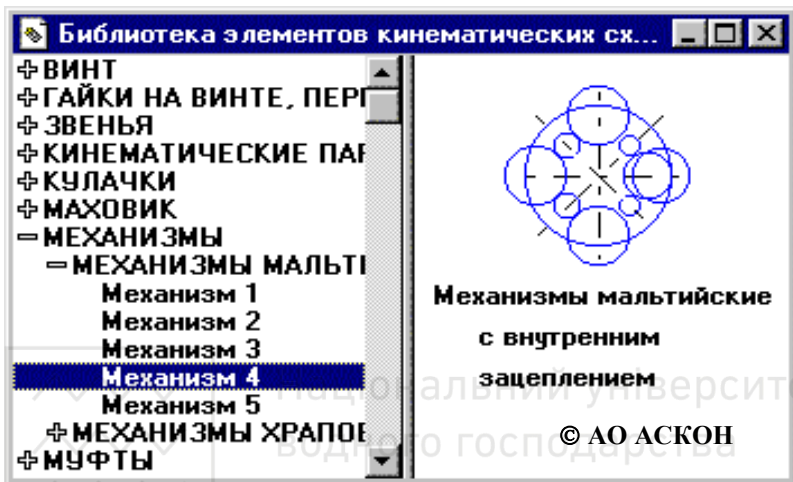


Рис.1.6. Робоче вікно КОМПАС-ГРАФІК з бібліотекою кінематичних схем

**1.2.3.5. КОМПАС-МЕНЕДЖЕР (версія 5).** Однією з найважливіших задач, яку доводиться вирішувати при впровадженні САПР на підприємствах, є організація спільної роботи користувачів з електронними документами, їхнє збереження та захист від несанкціонованих змін.

Зручним засобом організації роботи з єдиною базою електронної документації на виробі, вузли і складальні одиниці в робочих групах або конструкторських підрозділах невеликої та середньої чисельності, а також на локальних робочих місцях (рис.1.7) є КОМПАС-МЕНЕДЖЕР-5.

КОМПАС-МЕНЕДЖЕР- 5 можна використовувати як на окремому комп'ютері, так і в локальній мережі, що дозволяє централізовано зберігати документи проекту. Надійність збереження інформації про структуру виробу забезпечується за рахунок застосування відомої комерційної СУБД Borland Database Engine. КОМПАС-МЕНЕДЖЕР- 5 дозволяє розмежувати повноваження користувачів, що працюють над проектом, призначати їм різноманітні права доступу до документів.

Для зручної роботи з конструкторською документацією підтримуються режими відображення елементів виробу у виді “дерева” складальних одиниць, ієрархічного або лінійного списку, списку вхідності, а також допоміжний режим відображення “як у специфікації”.

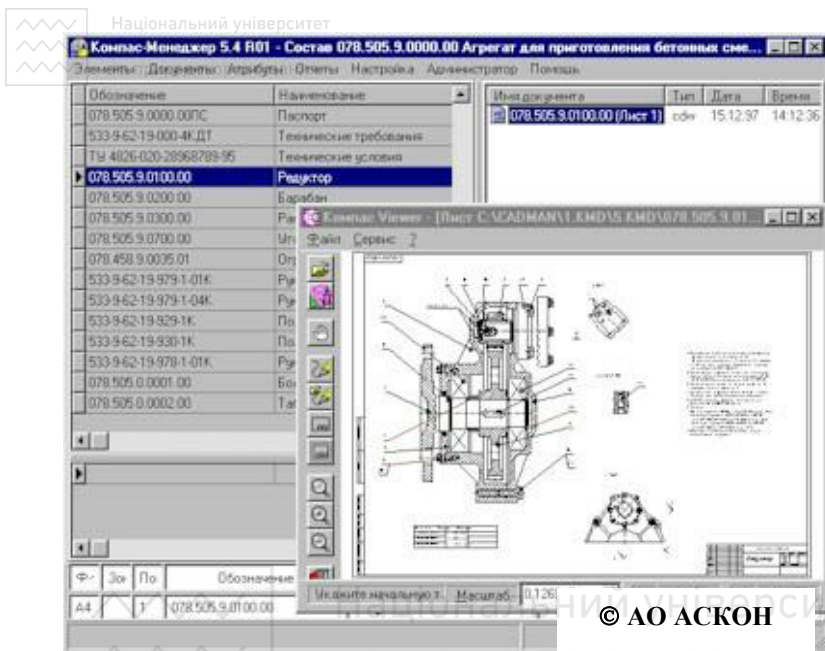


Рис.1.7. Робоче вікно КОМПАС- МЕНЕДЖЕР-5

Для кожного елемента, що входить до складу виробу, можна створювати декілька підпорядкованих документів. Це зручно у випадку необхідності одночасного зберігання разом креслення деталі, растрової презентаційної картинки та текстового документу. У системі КОМПАС-МЕНЕДЖЕР підтримується збереження й опрацювання різноманітних типів документів – креслень і фрагментів, растрових файлів, документів MS Office. Для елемента, що входить до складу виробу можуть зберігатись й редагуватись атрибути з додатковою інформацією (наприклад, дата останньої зміни, маса деталі тощо).

КОМПАС-МЕНЕДЖЕР-5 надає конструктору зручні засоби пошуку елементів складу виробу, копіювання та переносу елементів між різними складальними одиницями, а також багато інших сервісних функцій, у тому числі можливість генерації звіту – специфікації на виріб.

**1.2.3.6. Система проектування специфікацій (версія 5).** Призначення системи - автоматизоване формування текстових конструкторських документів (специфікацій) по збірному кресленню, побудованому в КОМПАС-ГРАФІК- 5. При цьому найбільший ефект досягається, якщо в збірному кресленні використані стандартні елементи машинобудівної бібліотеки. Специфікація є окремим типом документа КОМПАС-ГРАФІК- 5 поряд із кресленням, фрагментом і текстово-графічним документом.

При створенні збірного креслення слід використовувати елементи ма-

шинобудівної бібліотеки в режимі “з атрибутами”. У цьому випадку атрибути поміщаються в модель креслення та використовуються потім для автоматичного формування розділу специфікації “Стандартні вироби”. Для формування розділу “Деталі” система використовує спеціальну інформацію, внесену користувачем у складальне креслення, яка встановлює зв'язки між геометричними контурами деталей і лініями винесення. В будь-який з розділів специфікації інформація може бути занесена також в ручному режимі. Сортування елементів специфікації виконується в суворій відповідності зі стандартними правилами (рис.1.8).

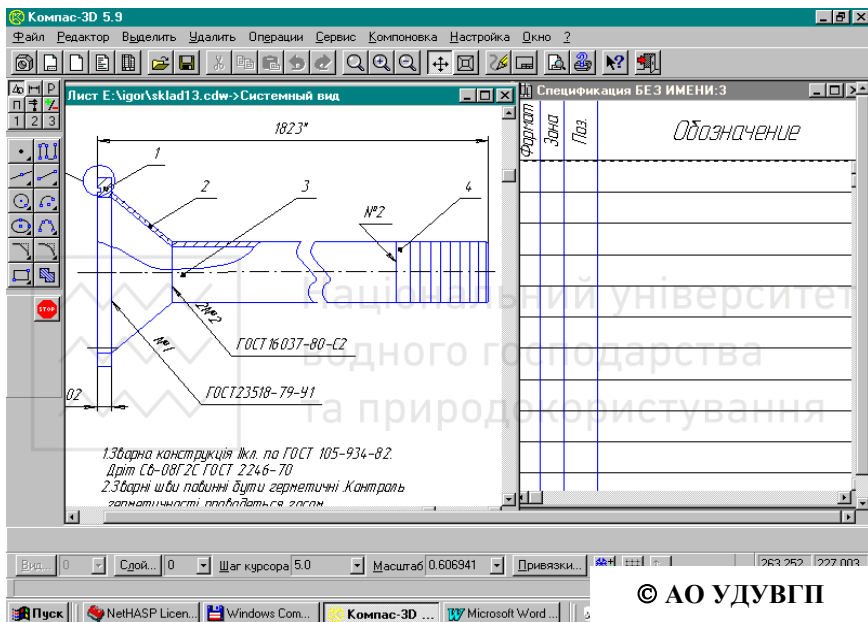


Рис.1.8. Робоче вікно системи проектування специфікацій

Система підтримує двонаправлений асоціативний зв'язок між специфікацією та кресленням, що дозволяє автоматично змінювати вміст специфікації при внесенні змін у збірне креслення, а також автоматизувати представлення номерів позицій.

Зформована конструктором специфікація може бути відредагована засобами текстового процесора КОМПАС-ГРАФІК, а потім виведена на друк. Серед сервісних можливостей системи - керування типами атрибутів, резервування позицій у поділах і багато чого іншого.

**1.2.3.7. Засоби розробки додатків КОМПАС-МАСТЕР (версія 5).** КОМПАС-ГРАФІК- 5 є відкритою системою. Це дозволяє створювати додаткові програмні модулі (користувачські бібліотеки), а потім використовувати

вати їх під час роботи над кресленнями. Таким чином, стандартні можливості креслярсько-графічного редактора можуть бути доповнені виходячи з тих спеціальних задач, які приходить розв'язувати користувачу. Типовий приклад додатку - бібліотека стандартних машинобудівних конструктивів.

Засоби розробки додатків - це набір бібліотек, які динамічно підключаються (DLL), які можна використовувати з будь-якою стандартною системою програмування для WINDOWS на мовах C, C++, Паскаль. До бібліотеки включено понад 300 спеціальних графічних функцій для доступу до ядра КОМПАС-ГРАФІК. Функції забезпечують побудову й обробку креслень, роботу з геометричною моделлю, організацію інтерфейсу між прикладною бібліотекою та основною системою. Для доступу до даних різноманітних стандартних СУБД можна скористатися інтерфейсом ODBC (Open Data Base Connectivity).

**1.2.3.8. Бібліотека проектування тіл обертання КОМПАС-SHAFT (версія 5).** Призначена для проектування деталей - тіл обертання з одночасним автоматичним формуванням їх креслень (включаючи таблиці параметрів зубчастих коліс, виносні елементи, профілі зубів, схеми контролю тощо). При побудові можна використовувати результати розрахунків механічних передач (рис.1.9).

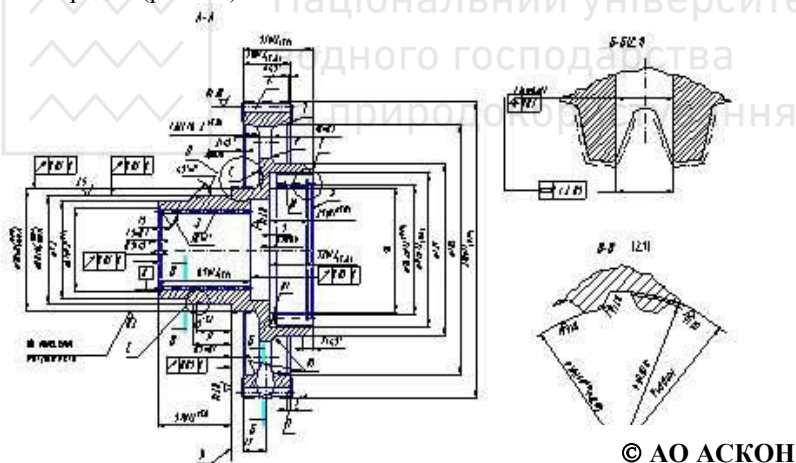


Рис.1.9. Фрагмент бібліотеки проектування тіл обертання КОМПАС-SHAFT

Типи ступенів деталі - циліндрична, конічна, типу "бочка" або "сідло", циліндрична з різьбою, шліцями чи шпонковим пазом, шестерня (циліндрична, конічна з круговим або прямим зубом), циліндричний черв'як і черв'ячне колесо. КОМПАС-SHAFT дозволяє в 10-15 раз збільшити швидкість проектування деталей класу типу тіл обертання та випуску документації на дані деталі.



**1.2.3.9. Бібліотека проектування циліндричних гвинтових пружин КОМПАС-SPRING.** Бібліотека (рис.1.10) забезпечує виконання проектного та перевірного розрахунків циліндричної гвинтової пружини розтягування та стиснення з одночасним автоматичним формуванням креслення. Розрахунок виконується при мінімальній кількості вихідних даних і гарантує необхідні параметри пружини при її мінімальній масі. Конструктор може варіювати різноманітними параметрами пружини в ході розрахунку для одержання найкращого результату. Бібліотека дозволяє в 15-20 раз збільшити швидкість проектування гвинтових пружин і випуску документації на них.

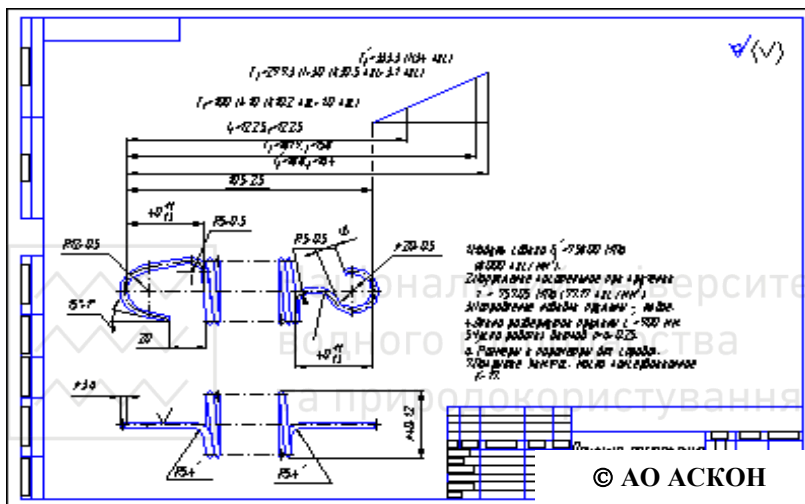


Рис.1.10. Фрагмент з бібліотеки проектування циліндричних гвинтових пружин  
КОМПАС-SPRING

**1.2.3.10. Архітектурно-будівельна бібліотека (версія 5).** Використовується при розробці будівельних креслень будинків і споруд (рис.1.11).

До складу бібліотеки включені типові зображення:

- дверей і вікон житлових, суспільних і виробничих будівель;
- сходових кліток і маршів, а також схем розрізу сходів;
- грузових і пасажирських ліфтів, машинних відділень ліфтів;
- плит, перегородок, прогінних конструкцій, ригелів, цегляних і панельних стін тощо.

- **1.2.3.11. Бібліотека елементів сантехніки (версія 5).** Бібліотека використовується при розробці відповідних креслень і схем в середовищі КОМПАС-ГРАФІК 5. Вміщує типові зображення елементів внутрішнього та зовнішнього водопроводів - арматури, колодязів, водомірних вузлів, патрубків, відводів, бачків, кранів, змішувачів тощо (рис.1.12).



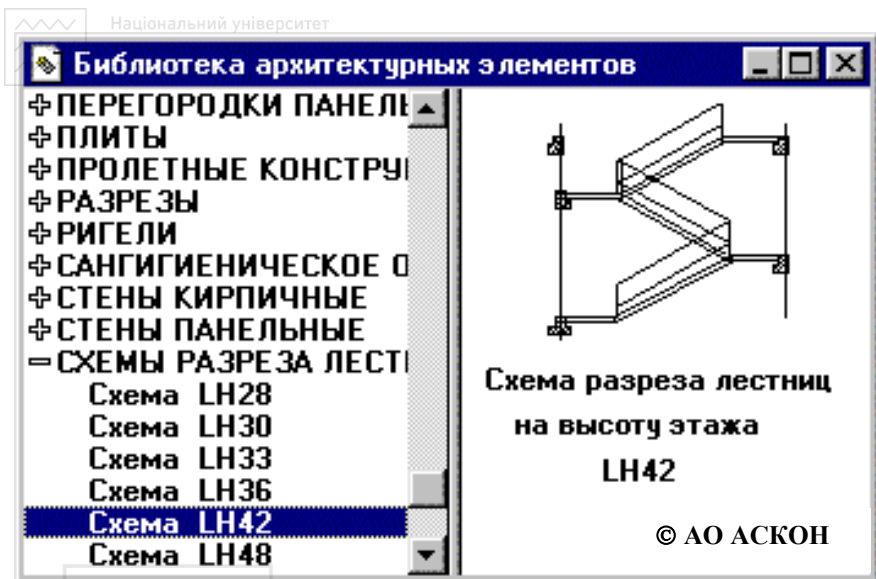


Рис.1.11. Фрагмент з архітектурно-будівельної бібліотеки

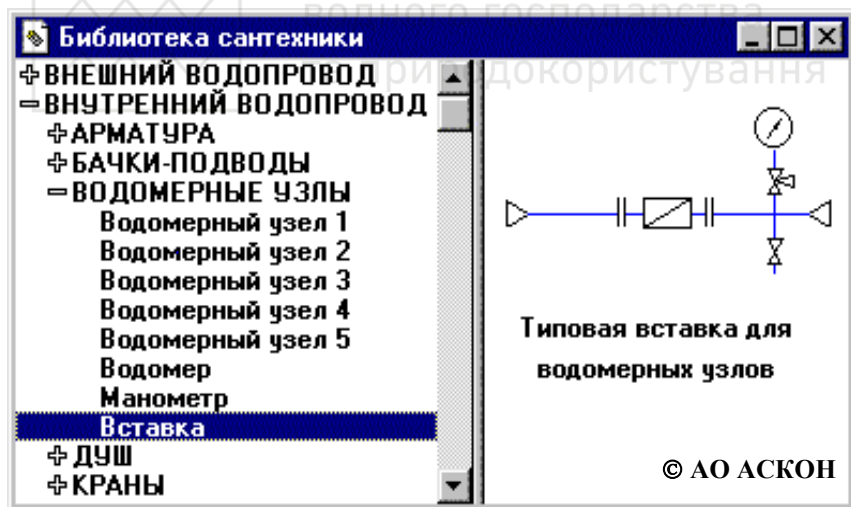


Рис.1.12. Фрагмент з бібліотеки елементів сантехніки

### 1.2.3.12. Бібліотека елементів технологічного оснащення (версія 5).

Бібліотека використовується при побудові креслень технологічного оснащення. Вміщує типові параметричні зображення різноманітних конструктивних елементів, які найчастіше використовуються (спеціальних

болтів і гвинтів, втулок, гайок, кулачків, опор, осей, призм, захватів тощо).

**1.2.3.13. Бібліотеки підтримки форматів DXF і IGES (версія 5).** Засоби обміну з іншими пакетами САПР в новій версії значно вдосконалені для досягнення максимальної сумісності даних. До складу бібліотек, які працюють у середовищі КОМПАС- 5, входять функції імпорту файлів форматів DXF і IGES, а також експорту креслень і фрагментів КОМПАС в ці формати.

**1.2.3.14. Система КОМПАС-ШТАМП** орієнтована на автоматизацію проектування штампів як оригінальних, так і типових конструкцій для різноманітних операцій холодного листового штампування (рис.1.13).

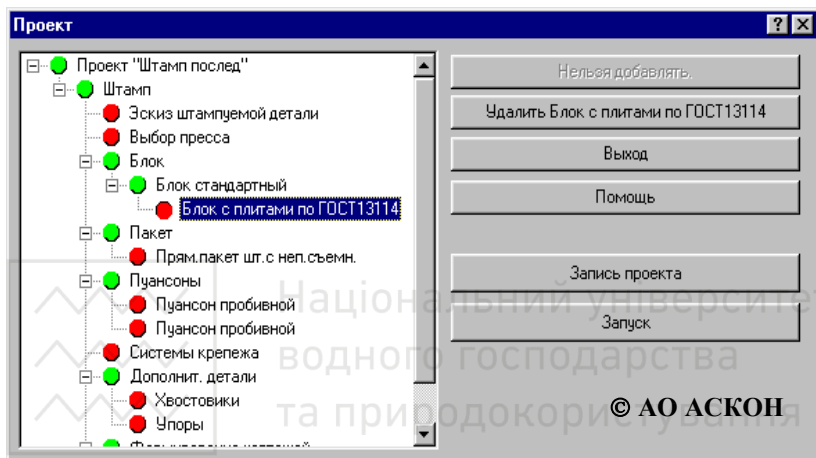


Рис.1.13. Фрагмент рабочего окна системы КОМПАС-ШТАМП

Проект конструкції штампа формується проектувальником на ранніх стадіях проектування, відображається на екрані дисплея у вигляді “дерева проекту” і відбиває номенклатурний склад і конструктивні особливості складових елементів штампа в конструкції. У якості складових елементів конструкції можуть виступати садові одиниці (блок, пакет тощо), технологічні системи (система кріплення, система фіксації заготовки тощо), деталі штампів. Формування складальних креслень та деталювань забезпечують бібліотеки проектування, кожна з яких виконує зв'язкове проектування деякого елемента конструкції штампа (блоку, пакету, технологічних систем, визначених деталей штампу). Конструктору дається можливість самому встановлювати порядок проектування - проектувати спочатку розріз штампу чи план низу чи верху, складальні чи робочі креслення. Результати проектування накопичуються в папці “Проект”, їм присвоюється унікальне ім'я, що автоматично використовуються на наступних етапах.

**1.2.3.15. КОМПАС-ГРАФІК- 5 LT.** В 1998 році компанія АСКОН зробила черговий рішучий крок, спрямований на підтримку вищої освіти, і ви-

пустила принципово новий пакет КОМПАС-ГРАФІК LT. Він розроблений на побажання викладачів ВУЗів. Їх пропозиції відносно застосування КОМПАС у навчальному процесі враховувались при роботі над системою.

КОМПАС-ГРАФІК LT орієнтований в основному на студентів технічних ВУЗів, технікумів і коледжів, які виконують великий об'єм креслярсько-графічних робіт з різноманітних дисциплін і хотіли б робити це не тільки в ВУЗі, але й на домашніх комп'ютерах. КОМПАС-ГРАФІК LT повністю сумісний за форматами даних з КОМПАС-ГРАФІК-5, що дозволяє організувати реальну двоступінчасту роботу - в комп'ютерних класах ВУЗу може використовуватись професійна версія КОМПАС, а на домашніх комп'ютерах – версія LT. В той же час можливе й масове оснащення версією LT комп'ютерних класів вищих і середніх учбових закладів поряд з професійним пакетом КОМПАС-ГРАФІК 5.

За функціями побудови та редагування креслення, виведення його на друк, а також за основними інтерфейсними рішеннями версія LT практично повністю співпадає з повною версією КОМПАС-ГРАФІК. В версії LT забезпечена 100% підтримка російських креслярських стандартів. В той же час є ряд серйозних відмінностей, які роблять LT малопридатним для професійних користувачів на промислових підприємствах.

Основні відмінності версії LT від повної версії:

- відключені параметричні функції, немає асоціативності моделі креслення;
- відсутній модуль роботи з текстово-графічними документами;
- відсутній модуль проектування специфікацій;
- не підтримуються бібліотеки фрагментів і вставки зовнішніх фрагментів в документ;
- не підтримуються прикладні бібліотеки;
- не підтримується створення таблиць;
- не підтримуються атрибути об'єктів;
- відсутні користувацькі панелі команд;
- не підтримуються користувацькі стилі ліній, текстів, штриховок, основних написів креслення тощо;
- значно скорочені сервісні можливості;
- відсутні утиліти швидкого перегляду та створення драйверів векторних пристроїв;
- не підтримується експорт в формати DXF и IGES.

Для роботи в КОМПАС-ГРАФІК LT необхідний комп'ютер з процесором Pentium, не менше ніж 16 Мб оперативної пам'яті (рекомендується 32 Мб) та ОС Windows 95/98 чи Windows NT. Для роботи під Windows NT необхідно не менше 32 Мб оперативної пам'яті.



### 1.3. Принципи роботи в КОМПАС-5

**1.3.1. Типи документів КОМПАС.** В системі підтримуються типи документів, найбільш характерні для різних проектно-конструкторських робіт у машинобудуванні, приладобудуванні, будівництві та архітектурі - креслення, фрагменти й текстово-графічні документи [10].

**Креслення в КОМПАС** - це документ, що може містити в собі довільну кількість видів (під видом розуміється проекція, виносний розріз або перетин або інше зображення), технічні вимоги, рамка й основний напис (штамп), а також знак невказаної шорсткості. При створенні нового креслення автоматично формується системний вид, і користувач може починати роботу прямо на полі креслення, при необхідності створюючи потім нові види. Для кожного виду можна задавати власний масштаб (наприклад, основні проекції можуть виконуватися в масштабі 1:2, а виносний перетин - у масштабі 4:1). В свою чергу, кожний вид можна розбивати на окремі шари (не більш 255). У КОМПАС-5 підтримуються такі поняття, як макроелементи та поійменовані групи об'єктів. Для зручного формування та зміни креслення можна використовувати посилання на пов'язані з ним зовнішні фрагменти.

У **фрагменті** можна зберігати довільну геометричну інформацію. Таким чином, фрагмент можна порівняти з кресленням, у якого є всього один вид у масштабі 1:1, а всі об'єкти оформлення креслення (рамка і штамп, технічні вимоги, невказана шорсткість) відсутні. Фрагменти дуже зручні для обміну геометричною інформацією між різними кресленнями, а також для зберігання типових конструктивних рішень, що за якихось причин незручно оформляти у виді закінченого креслення.

Нарешті, у КОМПАС-5 передбачена підтримка **текстово-графічних документів**. Такий документ може складатись з довільної кількості сторінок тексту, що супроводжуються ілюстраціями у форматі креслень або фрагментів КОМПАС. Для зручної роботи з текстово-графічними документами до складу КОМПАС-5 включений потужний текстовий редактор.

**1.3.2. Інтерфейс користувача.** Ера Windows-додатків, що наступила на початку 90-х років (а в Росії та Україні на декілька років пізніше), докорінно змінила уявлення користувачів і фірм-розроблювачів про інтерфейси програмних продуктів. Якщо раніше, у пору розквіту DOS, можна було побачити, що в різних системах того самого постачальника для однакових дій (наприклад, для відкриття файла) застосовуються цілком різні "гарячі" клавіші, а екрани виконані в діаметрально протилежних колірних гамах, то тепер діалог користувача та зовнішній вигляд програми будується за стандартизованими правилами. Час на освоєння кожного нового пакета значно скорочується, адже уміння виконувати базові дії в користувача вже є, й залишається тільки засвоїти особливості нової системи, пов'язані з предметною областю.

КОМПАС 5 створювався саме як повноцінний Windows-додаток, тому

в його зовнішньому вигляді присутні всі знайомі по інших програмах риси.

Система дозволяє одночасно завантажувати для роботи декілька документів і відчиняти кожний із них у декількох вікнах. Кількість одночасно відкритих документів обмежується тільки ресурсами комп'ютера. Доступ до команд системи здійснюється як через традиційні випадаючі меню, так і через кнопкові інструментальні панелі. Склад цих панелей користувач може змінювати за своїм бажанням безпосередньо під час сеансу роботи. Передбачено спеціальну панель швидкого керування, на якій можна розташувати кнопки команд, які часто викликаються. Можливе створення власних кнопкових панелей і підключення зовнішньої бібліотечної функції (тобто функції зовнішнього додатку до КОМПАС-5) у вигляді командної кнопки.

КОМПАС-5 оснащений розвинутою структурованою системою **Допомоги**, що дозволяє одержати детальну підказку в будь-якому режимі роботи й за будь-якою дією. Крім того, використовується технологія, що стала практично стандартом, ярликів-підказок, коли при зупинці курсора над якоюсь кнопкою або керуючим елементом з'являється коротка інформація про цей елемент. Ці засоби дозволяють прискорити освоєння пакету новачками й полегшити роботу з ним досвідченим користувачам.

Для КОМПАС-5 характерними є ряд особливостей інтерфейсу. Це в першу чергу широкий вибір інструментів панорамування зображення документу, в тому числі додаткові збільшуючі вікна. Ще однією важливою особливістю є відображення спеціального рядка параметрів, який з'являється на екрані після звертання до команд побудови чи редагування та дозволяє гнучко управляти будь-якими параметрами об'єкта (наприклад, довжиною й кутом нахилу відрізка, радіусом дуги, порядком сплайну тощо).

При створенні КОМПАС-5 були враховані вимоги, котрі користувачі висувають до професійного програмного забезпечення САПР у плані надійності та цілості результатів роботи.

Тому в системі реалізовано декілька різних режимів резервного копіювання завантажених для роботи документів - автоматичне зберігання через заданий інтервал часу, зберігання вихідної копії, а також попередньої та "дзеркальної" копій документу (наприклад, на сервері). Передбачено керування правами доступу до відкритих документів і службових файлів (таким як бібліотеки стилів або атрибутів), що дозволяє уникнути колізій при одночасній роботі декількох користувачів у локальній мережі. І, нарешті, є можливість включити вмонтовану систему контролю за відкритими файлами, що протягом сеансу роботи буде повідомляти про будь-які їхні зміни, наприклад, виконані користувачем віддаленого комп'ютера.

КОМПАС-5 підтримує скасування виконаних дій на довільне число кроків і їх повтор. Це дозволяє користувачу відмовитися від послідовності помилкових операцій (особливо часто скасування буває необхідне після неправильного видалення одного або декількох об'єктів креслення або неправильної перебудови).



## 1.4. Новий модуль системи - КОМПАС-3D

Можливості сучасних персональних комп'ютерів дозволяють виконувати задачі, які ще декілька років тому були винятковою прерогативою дорогих робочих станцій. Тому стало можливим використання комп'ютера не тільки для випуску креслярсько-конструкторської документації, але й для комплексного рішення ряду проблем проектування. До них відносяться моделювання виробів, їхній розрахунок і розробка технологічного процесу виготовлення [11].

Восени 1999 року компанія “АСКОН” випустила на ринок систему твердотілого тривимірного моделювання КОМПАС-3D, яка є доповненням до існуючого середовища проектування КОМПАС-5. Його створення якісно змінило вигляд системи й викликало виникнення нової торгової марки - КОМПАС-3D.

Ключовою особливістю КОМПАС-3D є використання власного математичного ядра і параметричних технологій, розроблених спеціалістами АТ “АСКОН”.

Причинами, що вплинули на ухвалення рішення про роботу з унікальним графічним ядром і параметризатором є:

1. Використання вже існуючих компонентів системи (КОМПАС-ГРАФІК) дозволяє працювати в єдиному середовищі проектування. При цьому креслярсько-графічний модуль принципово не змінюється, а система тривимірного моделювання стає цілком сумісною з ним. Таким чином, можна використовувати існуючі розробки (на основі раніше створених креслень і фрагментів формувати тривимірні моделі).
2. При удосконаленні системи і внесенні виправлень розроблювачі мають більшу свободу. При цьому можливості й обмеження “купленого” тривимірного ядра і параметризатора не стають фактором, який визначає якості КОМПАС-3D.

Область застосування КОМПАС-3D визначається основним набором задач, що він покликаний вирішувати. До них відносяться:

- моделювання деталей з метою розрахунку їх геометричних і масо-центрувальних характеристик;
- моделювання деталей для передачі геометрії в розрахункові пакети;
- моделювання деталей для передачі геометрії в пакети розробки керуючих програм для устаткування з ЧПУ;
- створення ізометричних зображень деталей (наприклад, для упорядкування каталогів, створення ілюстрацій до технічної документації тощо).

КОМПАС-3D його може експлуатуватись в комплексі з “важкими” і “середніми” САПР (наприклад, із пакетом SolidWorks). Підготовлені в КОМПАС-3D моделі деталей можна потім передати в суміжну систему для наступного їхнього складання.



**1.4.1. Порядок роботи при створенні моделі.** Загальноприйнятим порядком моделювання твердого тіла є послідовне виконання булевих операцій (додавання і віднімання) над об'ємними примітивами (сферами, призмами, циліндрами, конусами, пірамідами тощо).

В різних системах реалізовані різноманітні засоби задавання форми об'ємних примітивів:

- запровадження параметрів для примітива обраного зі списку типу (наприклад, запровадження радіуса сфери або габаритів паралелепіпеда);
- виконання такого переміщення плоскої фігури в просторі, слід від якого визначає форму примітива (наприклад, поворот окружності навколо осі утворить сферу, а зсув багатокутника - призму).

Інший, більш гнучкий, спосіб реалізований у КОМПАС-3D. Він дозволяє створити такі типи об'ємних примітивів, що важко (або неможливо) сформулювати першим способом.

Плоска фігура, на основі якої утвориться тіло, називається ескізом, а формотворне переміщення ескізу - операцією.

**Ескіз** відображається на площині стандартними засобами креслярсько-графічного редактора КОМПАС-ГРАФІК. При цьому доступні всі команди побудови і редагування зображення, команди параметризації та сервісні можливості. Єдиним винятком є неможливість запровадження деяких технологічних позначень і об'єктів оформлення. Ескіз, як і фрагмент, може бути параметричним.

В ескіз можна перенести зображення з раніше підготовленого в КОМПАС-ГРАФІК креслення або фрагмента. Це дозволяє при створенні тривимірної моделі спиратися на існуючу креслярсько-конструкторську документацію.

Ескіз може розташовуватися в одній з ортогональних площин координат, на плоскій грані існуючого тіла або в допоміжній площині, положення якої задано користувачем.

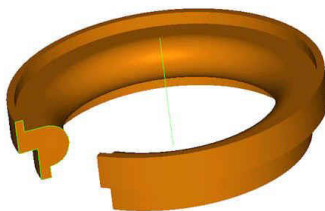
Проектування деталі починається зі створення базового тіла шляхом виконання **операцій** над ескізом (або декількома ескізами). При цьому доступні наступні типи операцій:

- обертання ескізу навколо осі, що лежить у площині ескізу;
- видавлювання ескізу в напрямку, перпендикулярному до площини ескізу;
- кінематична операція - переміщення ескізу вздовж зазначеної напрямляючої;
- побудова тіла за декількома перетинами-ескізами.

Деталі, що утворилися в результаті операцій над ескізами показані на рис.1.14.



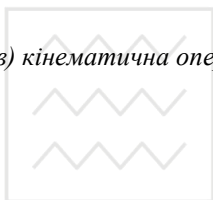
*а) обертання*



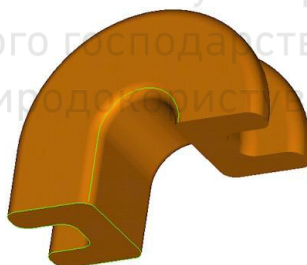
*б) видавлювання*



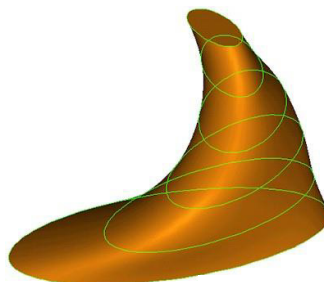
*в) кінематична операція*



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування



*г) побудова тіла за перетинами*



© АО АСКОН

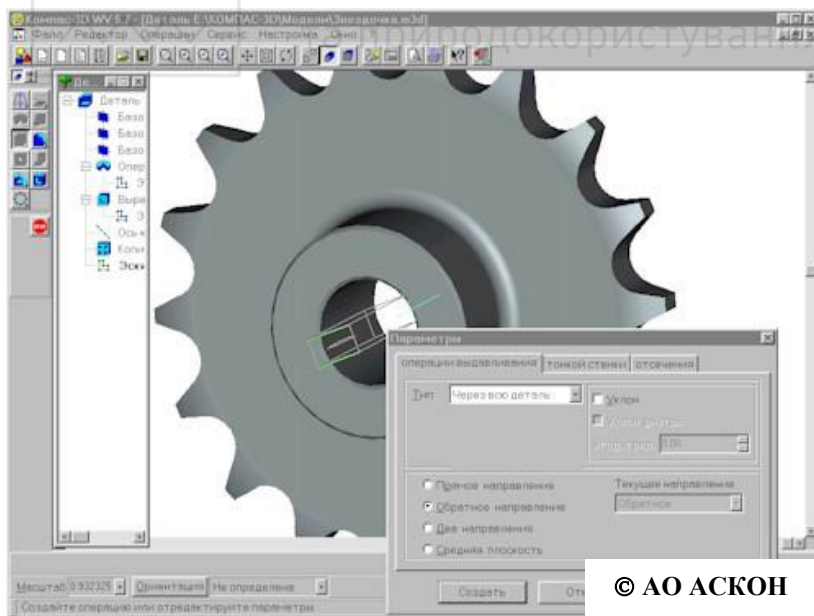
Рис.1.14. Операції над ескізами: а) обертання, б) видавлювання, в) кінематична операція, г) побудова тіла за перетинами



Кожна операція має додаткові опції, що дозволяють варіювати правилами побудови тіла:

- при обертанні ескізу можна задати кут і напрямок повороту щодо площини ескізу і вибрати тип тіла - торойд або сфероїд (якщо контур ескізу не замкнутий);
- при видавлюванні ескізу можна задати відстань і напрямок видавлювання щодо площини ескізу і при необхідності ввести кут нахилу;
- при виконанні кінематичної операції можна задати орієнтацію твірної щодо направляючої (зберігання нормалі, куту нахилу чи ортогональності);
- при побудові тіла за перетинами можна зазначити чи потрібно замикати побудоване тіло;
- в усі типи операцій можна включати опцію створення тонкостінної оболонки і задати товщину і напрямок побудови стінки – всередину, назовні або в обидві сторони від поверхні тіла, утвореного операцією.

Після створення базового тіла здійснюються “приклеювання” або “вирізка” додаткових об’ємів (рис.1.15). Кожний із них являє собою тіло, утворене за допомогою перерахованих вище операцій над новими ескізами. При виборі типу операції потрібно відразу зазначити, буде утворюване тіло відраховуватися з основного об’єму чи додаватися до нього. Прикладами вирізання об’єму з деталі можуть бути різноманітні отвори, проточки, канавки, а прикладами додавання об’єму - бобишки, виступи, ребра.



© АО АСКОН

Рис.1.15. Створення паза шляхом вирізання тіла видавлювання

При введенні параметрів операції вирізання або приклеювання користувач може використовувати більше опцій, чим у базовій (найпершій) операції. Додаткові опції дозволяють спростити задавання параметрів.

- Наприклад, при створенні наскрізного отвору можна не розраховувати його довжину, а вибрати опцію **“Через всю деталь”**, а при створенні бобишки зазначити, що вона повинна бути побудована до визначеної поверхні.

Додаткові операції дозволяють спростити задавання параметрів найбільш поширених конструктивних елементів - фаски, заокруглення та циліндричного отвору. Так, для побудови фаски не потрібно вирисовувати ескіз, переміщувати його вздовж ребра та вирізати об'єм, що утворився, з основного тіла. Достатньо зазначити ребро чи декілька ребер або грані для побудови фаски і ввести її параметри - розмір катетів або розмір катета та кут. Аналогічно при побудові отвору достатньо вибрати його тип (наприклад, отвір глухий із зенковкою та цековкою) і ввести відповідні параметри (рис.1.16).

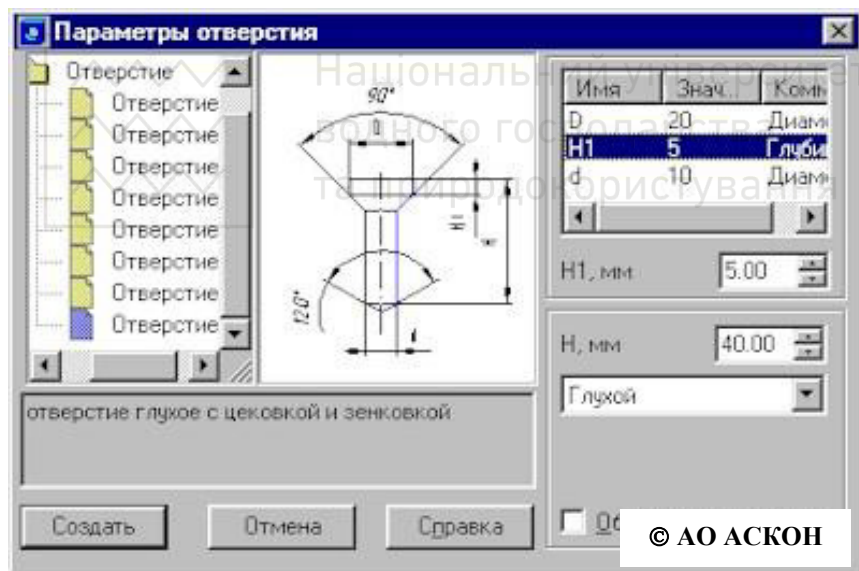


Рис.1.16. Задання параметрів отвору

На будь-якому етапі роботи тіло можна перетворити в тонкостінну оболонку (для цього необхідно виключити одну або декілька граней, що не повинні входити в оболонку) (рис.1.17). Порядок роботи з оболонкою, що утворилася, буде старим - додавання та віднімання тіл, формування фасок, заокруглень і отворів.

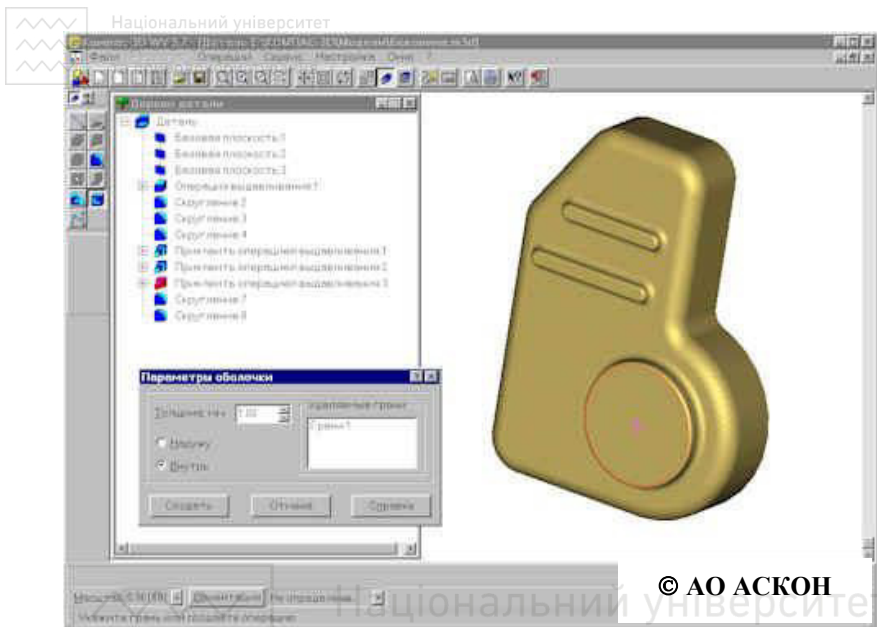


Рис.1.17. Створення тонкостінної оболонки

На будь-якому етапі роботи можна видалити частину тіла по межі, що являє собою площину або циліндричну поверхню, утворену видавлюванням довільного ескізу.

Дуже часто при побудові тіла виникає необхідність зробити декілька однакових операцій. Для повторення операції можна скористатися командою **“Копія”**. В КОМПАС-3D доступні різноманітні способи копіювання: копіювання за сіткою, за колом, вздовж кривої, дзеркальне копіювання. Можливе не тільки копіювання операцій видавлювання та приклеювання, але і **“копіювання копіювання”**.

Для створення деталі, що володіє площиною симетрії, можна скористатися командою **“Зеркально отразить все”**, а для одержання деталі, симетричної існуючій - командою **“Зеркальная деталь”**.

**Допоміжні побудови.** Як згадувалося вище, ескіз може бути побудований на площині (у тому числі на будь-якій плоскій грані тіла). Для виконання деяких операцій (наприклад, копіювання за колом) необхідно вказувати вісь (віссю може служити і прямолінійне ребро тіла). Якщо існуючих у моделі ортогональних площин, граней і ребер недостатньо для побудов, користувач може створити допоміжні площини й осі, задавши їхнє положення одним із передбачених системою способів. Наприклад, вісь можна провести через дві вершини або через прямолінійне ребро, а площину - через три вершини або через ребро і вершину. Існують і інші способи зада-

вання положення допоміжних осей і площин.

Застосування допоміжних конструктивних елементів значно розширює можливості побудови моделі.

**1.4.2. Інтерфейс системи.** Виклик команд КОМПАС-3D здійснюється прийнятим для Windows-додатків способом - через сторінки меню і кнопки на Панелі керування й Інструментальній панелі.

КОМПАС-3D - багатовіконна та багатодокументна система. В ній можуть бути одночасно відкриті вікна всіх типів документів КОМПАС – тривимірних деталей, креслень, фрагментів, текстово-графічних документів і специфікацій. Кожний документ може відображатися в декількох вікнах.

Інтерфейс при роботі з кресленнями, фрагментами, текстами та специфікаціями цілком не відрізняється від інтерфейсу КОМПАС-ГРАФІК.

При роботі з тривимірним модулем вся послідовність побудови деталі відображається в окремому вікні у вигляді “дерева побудови”. У ньому перераховані всі існуючі в моделі допоміжні елементи, ескізи і виконані операції в порядку їхнього створення (рис.1.18).

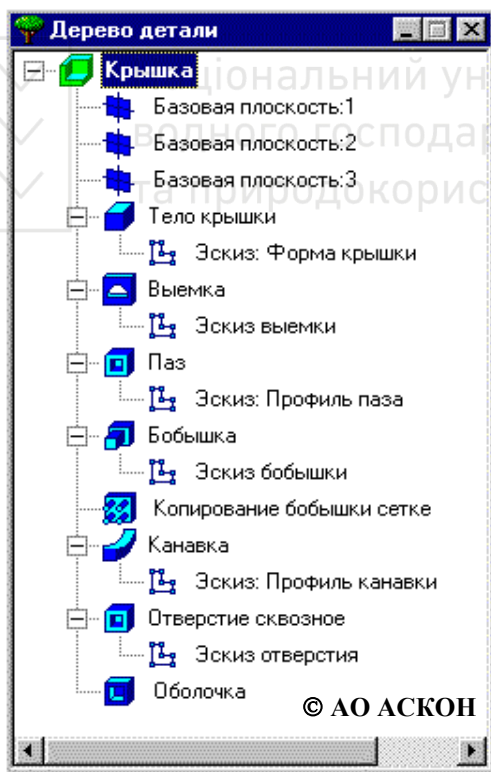


Рис.1.18. Дерево побудови

Крім дерева, що відбиває історію створення деталі, КОМПАС-3D запам'ятовує ієрархію елементів моделі. У будь-який момент можливий перегляд ієрархії в спеціальному діалозі (рис.1.19), де відображаються всі топологічні відношення між елементами моделі. Наприклад, ескіз, побудований на грані якогось тіла, розташовується в ієрархічній гілці, що відповідає цьому тілу.

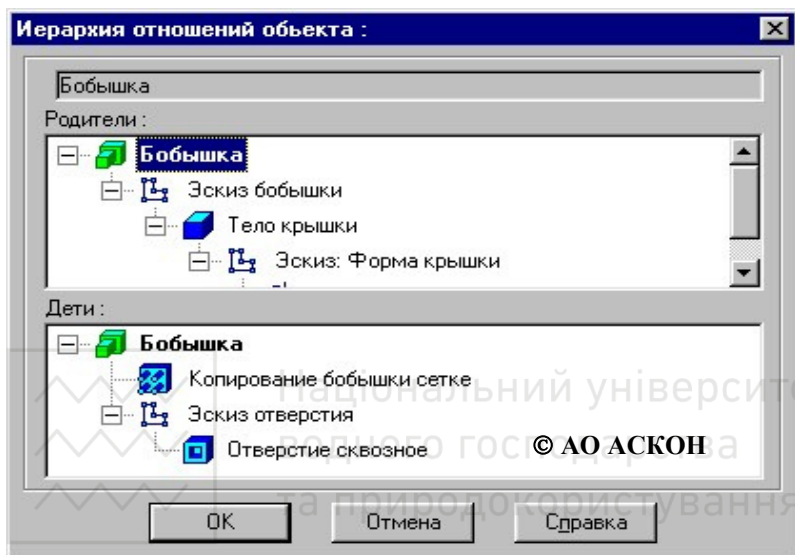


Рис.1.19. Перегляд ієрархічної структури моделі.

Ескіз (або декілька ескізів) для виконання операції можна вказувати в дереві побудови. При виділенні будь-якого елемента дерева відповідна йому частина моделі підсвічується у вікні деталі. Якщо для виконання операції (наприклад, створення заокруглення) необхідно задати грані, ребра чи вершини, їх можна зазначити курсором у вікні роботи з деталлю.

**1.4.3. Параметричні властивості деталі.** Існує два аспекти параметризації тривимірної моделі в КОМПАС-3D.

По-перше, кожен ескіз може бути параметричним. На його графічні об'єкти можуть бути накладені наступні типи параметричних зв'язків і обмежень:

- вертикальність прямих і відрізків;
- горизонтальність прямих і відрізків;
- колінеарність відрізків;
- рівнобіжність прямих і відрізків;
- перпендикулярність прямих і відрізків;
- вирівнювання характерних точок об'єктів по вертикалі;



- вирівнювання характерних точок об'єктів по горизонталі;

- дзеркальна симетрія;

- рівність радіусів дуг і кіл;

- рівність довжин відрізків;

- торкання кривих;

- об'єднання характерних точок об'єктів;

- належність точки кривої;

- фіксація характерних точок об'єктів;

- фіксація та редагування розмірів;

- присвоєння розміру імені змінної;

- задавання аналітичних залежностей (рівнянь і нерівностей) між змінними.

В ескізах реалізована варіаційна ідеологія параметризації.

По-друге, при створенні моделі система запам'ятовує не тільки порядок її формування, але й відношення між елементами (наприклад, належність ескізу грані чи вказування ребра в якості шляху для кінематичної операції). Тобто, реалізована ієрархічна ідеологія параметризації об'ємних побудов.

**1.4.4. Редагування моделі.** Наявність параметричних зв'язків і обмежень у моделі, природно, накладає відбиток на принципи її редагування.

У КОМПАС-3D у будь-який момент можлива зміна параметрів будь-якого елемента (ескізу, операції) моделі. Після задавання нових значень параметрів модель перебудовується відповідно до них. При цьому зберігаються всі існуючі в ній зв'язки. Наприклад, користувач змінює глибину операції видавлювання та її ескіз; в результаті інший ескіз, побудований на торці утвореного цією операцією тіла, також залишається на цьому торці (а не "повисає" у просторі на своєму старому місці).

Слід підкреслити, що після редагування елемента, який займає будь-яке місце в ієрархії побудов, нема необхідності наново задавати послідовність побудови підпорядкованих елементів і їхні параметри. Вся ця інформація зберігається в моделі й не руйнується при редагуванні окремих її частин.

Зручний (правда, він не часто використовується) прийом редагування - **"перетаскивание"** операцій мишею прямо в дереві побудови. За його допомогою можна швидко виправити помилку в порядку побудови.

Будь-яку операцію можна видалити з моделі - для цього достатньо виділити її в дереві побудови і натиснути клавішу **<Delete>**.

Якщо зроблене таке редагування моделі, що унеможливорює існування якого-небудь її елементів з урахуванням параметричних зв'язків, КОМПАС-3D видає відповідне діагностичне повідомлення. У ньому зазначена конкретна причина конфлікту або втрати зв'язку між елементами моделі (наприклад, **"Операция потеряла опорный объект"**, **"Опорная поверхность видоизменилась"**, **"Пустой эскиз"**, **"Самопересечение контура"** тощо). Довідкова система містить рекомендації по можливих шляхах усунення помилки.

При розробці функцій і інтерфейсу КОМПАС-3D враховувалися прийоми роботи, властиві машинобудівному проектуванню. Орієнтація системи на формування моделей конкретних деталей, що містять типові конструктивні елементи, спрощує виконання найбільш характерних операцій. До них відносяться розглянуті вище операції створення фаски, заокруглення та отвору.

Створення користувацьких бібліотек ескізів - це ще одна можливість автоматизації побудов. Наприклад, можна сформувати бібліотеку параметричних ескізів, що містять профілі проточок, а потім використовувати їх при створенні моделей тіл обертання.

Зручним прийомом моделювання виробів, що відрізняються лише деякими конструктивними елементами, є використання в якості базового тіла раніше підготовленої моделі (вона називається заготовкою).

Наступна робота з таким базовим тілом (“приклеювання” і “вирізання” додаткових об’ємів) нічим не відрізняється від роботи з тілом, отриманим шляхом операції над ескізом.

При використанні заготовки варто враховувати, що вона не копіюється в модель, а існує в ньому у вигляді посилання на свій файл (заготовку можна порівняти зі вставкою фрагменту посиланням у креслення КОМПАС-ГРАФІК). Після редагування моделі, що використовується в якості заготовки іншими моделями, всі зміни передаються у файли, що містять посилання на заготовки.

**1.4.5. Сервісні можливості.** Крім команд, які безпосередньо висуваються до побудови тривимірної моделі, у розпорядженні користувача знаходяться численні сервісні можливості. Їхнє використання дозволяє управляти відображенням деталі, робити різноманітні виміри, формувати плоскі зображення деталі.

Для зміни відображення деталі можна використовувати команди керування масштабом відображення деталі у вікні, команди переміщення (повороту та зсуву) деталі в просторі. Для користувача є доступними декілька способів відображення деталі: каркас, відображення без невидимих ліній або з тонкими невидимими лініями, напівтонове та перспективне напівтонове відображення. Для кожної окремої грані або для всієї деталі в цілому можна задавати властивості поверхні (колір, ступінь відблиску, прозорості тощо). У випадку вказування матеріалу деталі з бібліотеки його оптичні властивості враховуються при напівтоновому відображенні моделі.

Є можливим вимірювання різноманітних геометричних характеристик: відстаней між вершинами, ребрами й гранями в будь-якій комбінації, вимірювання довжин ребер і периметрів граней, вимірювання площ граней. Проводиться розрахунок масо-інерційних характеристик деталі (об’єму, маси, координат центру ваги, осьових і відцентрових моментів інерції, напрямку головних осей інерції) (рис. 1.20).



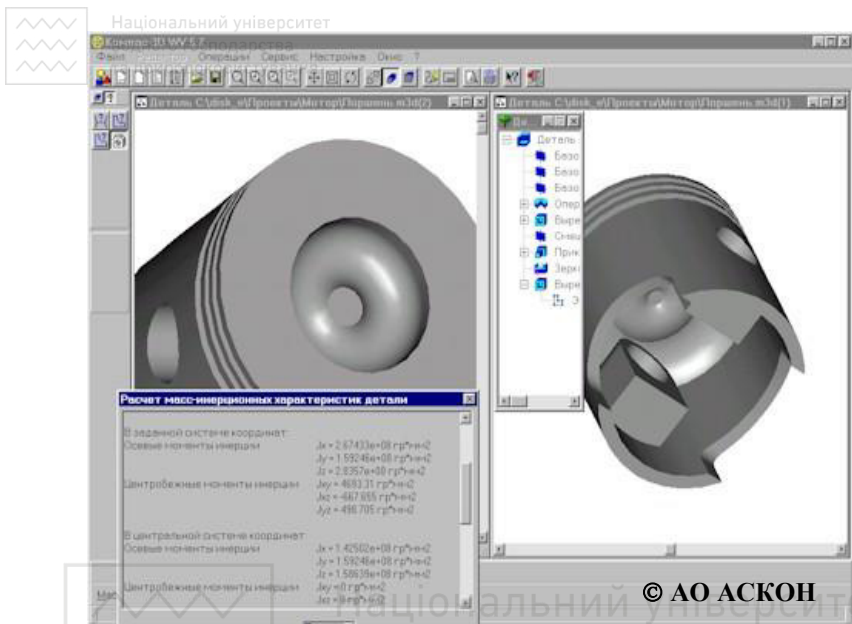


Рис.1.20. Розрахунок масо-інерційних характеристик деталі

За допомогою відповідної команди можна створити плоске зображення (своєрідну “заготовку креслення”) тривимірної моделі. Доступний вибір будь-якої комбінації проєкцій, масштабу, параметрів розташування видів, засобів зображення невидимих ліній і ліній переходу. Отримане зображення розміщується у файлі креслення КОМПАС-ГРАФІК (\*.cdw); подальше його оформлення (проставлення розмірів і технологічних позначень, заповнення технічних вимог тощо) провадиться звичними засобами креслярсько-графічного редактора.

**1.4.6. Утиліта перегляду.** До КОМПАС-ГРАФІК безкоштовно додається утиліта перегляду файлів КОМПАС-Viewer, яка дає змогу працювати з файлами тривимірних моделей КОМПАС-3D. При перегляді моделей (як і при перегляді графічних документів) доступні команди зміни масштабу та зсуву зображення, а також команди зміни орієнтації деталі в просторі (інакше кажучи, тривимірну модель у КОМПАС-Viewer можна роздивитися з усіх боків).

**1.4.7. Підтримка технології OLE.** Тривимірну твердотільну модель, розроблену в КОМПАС-3D, можна вставити в будь-який документ, що є OLE-контейнером (наприклад, у документ MS Word). Створений у такий спосіб OLE-об'єкт надалі можна переглядати за допомогою КОМПАС-Viewer або редагувати засобами КОМПАС-3D.

Якщо при вставці OLE-об'єкта збережений зв'язок із файлом-джерелом,

то всі внесені в джерело зміни будуть відбиватися в документі-контейнері.

**1.4.8. Обмін інформацією з іншими системами.** Для передачі створеної в КОМПАС-3D моделі в інші пакети з метою подальшого її опрацювання (для вставки в складальне креслення, виконання розрахунків на міцність та інших розрахунків, формування керуючих програм для технологічного устаткування тощо) служать команди експорту. Тривимірні моделі КОМПАС-3D можна зберегти й передати у форматах IGES, SAT і STL. Крім того, тривимірні моделі КОМПАС-3D можуть бути напряду, без використання зовнішніх модулів конвертації, прочитані пакетом SolidWorks. Це досягається шляхом використання спеціального модуля сполучення з SolidWorks, розробленого спеціалістами АСКОН.

В якості прикладів використання експортованих моделей КОМПАС-3D можна призвести формування керуючих програм для верстатів із ЧПУ на основі файлів формату IGES (система Гемма3D), формування керуючих програм для стереолітографічних машин на основі файлів формату STL, створення складальних креслень на основі файлів формату SAT (системи SolidWorks і SolidEdge).

Поряд з експортом моделей у КОМПАС-3D існує можливість імпорту файлів формату SAT.

Вимоги КОМПАС-3D до апаратного забезпечення практично не виросли в порівнянні з КОМПАС-ГРАФІК 2D. Для роботи пакету рекомендується комп'ютер із процесором Pentium-133 і вище, 32 Мб оперативної пам'яті (рекомендується 64 Мб), відеокарта SVGA з 2 Мб відеопам'яті.

## 1.5. Проектування металоконструкцій у КОМПАС-ГРАФІК

При проектуванні різноманітних споруд та металічних конструкцій будівельних, дорожніх та меліоративних машин, оснащення для теплоенергетики, хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів дуже часто виникає задача розробки несучого каркасу зі сталевого прокату. До останнього часу спеціалізовані додатки для КОМПАС-ГРАФІК- 5 дозволяли в кращому випадку викреслити поперечний переріз профілю. Цього було недостатньо для повноцінної роботи при проектуванні металоконструкцій [12].

Бібліотека “Проектування металоконструкцій” призначена для автоматизації роботи інженера при проектуванні сталевих конструкцій із стандартного профільного прокату. Бібліотека є додатком до КОМПАС-ГРАФІК- 5.x і дозволяє швидко і якісно виконувати проекти середньої складності.

Бібліотека також може бути використана для проектування в всіх областях застосування сталевих конструкцій (машинобудування, промислове будівництво, проектування мостів, технологічні конструкції та багато іншого). За спроектованою засобами бібліотеки конструкцією автоматизовано створюються робочі креслення й інші необхідні документи марки КМ і

Diagram of a roof truss system. The top chord consists of three segments: 14.0, 14.0, and 20.0. The bottom chord consists of three segments: 10.0, 10.0, and 20.0. The total width is 40.0. The height is 8.00. The truss is divided into three panels. The left panel has a vertical member of 8.00 and a diagonal member of 15.65. The middle panel has a vertical member of 12.75 and a diagonal member of 21.90. The right panel has a vertical member of 24.00 and a diagonal member of 22.47. The truss is supported by a pin support on the left and a roller support on the right. The label "© АО АСКОН" is present in the bottom right corner.

Рис.1.21. Геометрична схема конструкції, що проектується

Крім можливостей базового продукту, проектувальник може скористатися бібліотечними функціями побудови геометричної схеми, особливо при проектуванні різноманітних вертикальних конструкцій (опор, підставок тощо). Геометрія подібних конструкцій будується шляхом додавання різноманітних варіантів сегментів при заданих розмірах верхньої та нижньої основ конструкції (рис. 1.22).

**1.5.1. Формування профілів.** На даному етапі проектувальник на основі геометричної схеми додає в конструкцію несучі елементи - профілі.

Введення профілю в конструкцію виконується простою указівкою відповідного елемента вихідної геометричної схеми та завданням параметрів одержуваної деталі. База для формування профілю - відрізок (риска). На основі довжини і координат кінцевих точок цього відрізка, а також зазначених користувачем параметрів (номер профілю, товщина полочки, розмір від обушка профілю до риски, відображення полочки) формується макрооб'єкт однієї з проекцій деталі. Керування проекціями профілю дозволяє створювати в робочому кресленні деталі необхідну кількість видів.

Бібліотека дозволяє працювати зі всіма основними типами фасонного прокату (кутники з рівними та нерівними полочками, швелери, двутаври). Вибір профілю може проводитися за конструктивними критеріями – ширині, товщині полочки чи їхнім сполученням. Введення числа в одне з полів або в комбінацію полів формує запит до бази даних, за яким вибираються

можливі тип профілю та типорозміри з урахуванням зазначеного типу профілю (рис.1.23).

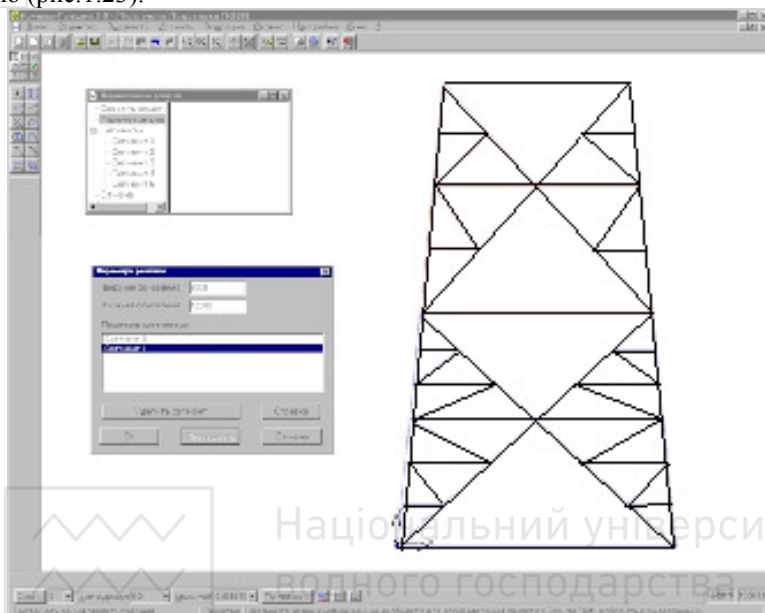


Рис.1.22. Формування вихідної геометричної схеми із с

© АО АСКОН

Що стосується конструкції деталі, то в даному випадку проектувальник може управляти розміткою риски профілю і, при необхідності, виконувати в профілі скоси та вируби необхідних розмірів. Для правильного визначення необхідного торця профілю вони пронумеровані (рис.1.24).

**1.5.2. Формування вузлів.** Бібліотека дозволяє сформувати всі основні типи з'єднань профілів, починаючи від простих одноболтових з'єднань і закінчуючи різноманітними типами фасонки.

Для формування з'єднання профілів необхідно вибрати тип з'єднання з меню й зазначити точку розміщення з'єднання в геометричній схемі (наприклад, просте з'єднання). Вузол може зв'язувати декілька профілів, що мають одну загальну точку. Ця загальна точка вихідної геометрії і є точкою вставки з'єднання.

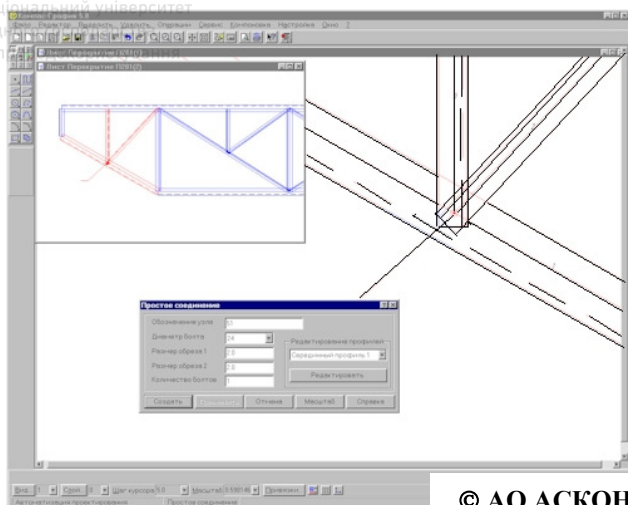
При формуванні вузла в загальній точці профілів створюється отвір під сполучний болт. Довжина болта підбирається з урахуванням товщини пакета, що з'єднується (рис.1.25).



Рис.1.23. Вибір типу профілю



Рис.1.24. Введення елемента конструкції

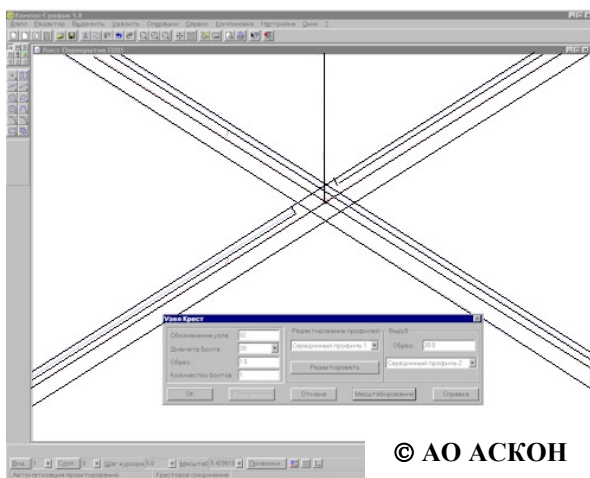


© АО АСКОН

Рис.1.25. Введення простого з'єднання

Проектувальник, призначаючи відповідні параметри, змінює вихідні профілі й одержує цілком закінчену конструкцію даного з'єднання.

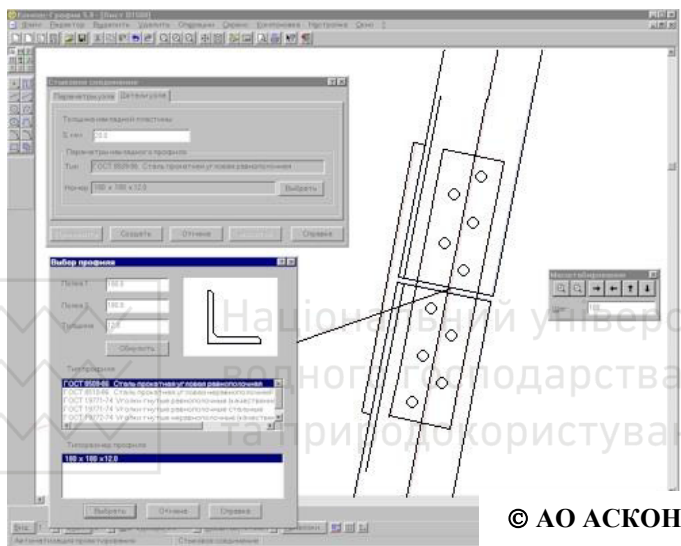
Однією з різновидностей одноболтового з'єднання є хрестове з'єднання (рис.1.26). Вузол може з'єднувати декілька профілів у різноманітних сполученнях. При перетинанні полок що з'єднуються профілів є можливість виконати в одному з профілів вируб полички.



© АО АСКОН

Рис.1.26. Введення хрестового з'єднання

У процесі проектування нерідко виникає проблема, коли довжина відрізка вихідної геометрії перевищує довжину наявного на підприємстві прокату. У даному випадку проектувальнику необхідно одержати необхідну конструкцію, об'єднавши декілька профілів встик. Для цього в бібліотеці передбачена можливість формування стикового з'єднання (рис.1.27). Таке з'єднання дозволяє одержати конструкцію, що з'єднує два профілі з заданим зазором у стикі і з заданими параметрами з'єднуючих деталей, накладок і стикового кутика.



© АО АСКОН

Рис.1.27. Стиковое з'єднання

Крім простих одноболтових з'єднань бібліотека дозволяє формувати в конструкції складні з'єднання – фасонки (рис.1.28). Для формування такого типу вузла необхідно попередньо визначити контур, що обмежує з'єднуючу деталь, власне фасонку.

**1.5.3. Контроль конструкції.** У процесі формування вузлів бібліотека відслідковує та перевіряє правильність одержуваної геометрії. Перевіряються наступні параметри:

- мінімальна відстань від центрів отворів до країв профілю та фасонки;
- перетинання полиць профілів з урахуванням радіуса внутрішнього заокруглення профілю;
- можливість розміщення на полиці шайби обраного діаметра і наявність у Держстандарті болта необхідної довжини, що забезпечує зтягування пакета одержаного в з'єднанні.



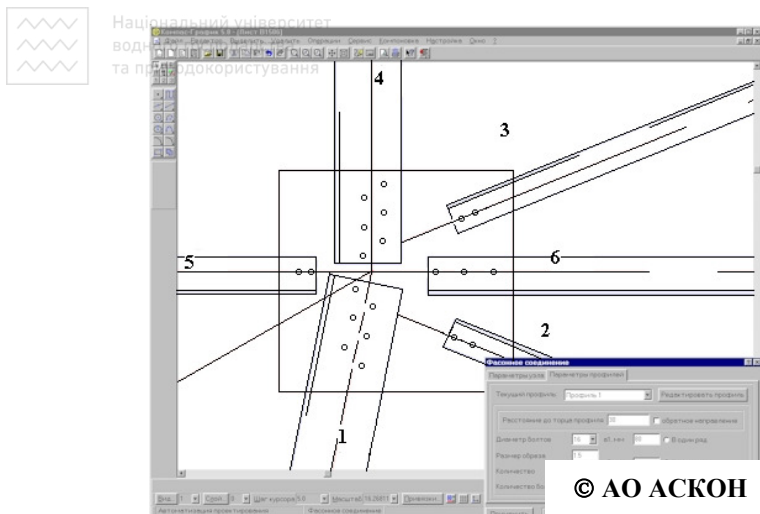


Рис.1.28. Фасонка

При порушенні даних умов бібліотека видає проектувальнику відповідні попередження.

Крім контролю геометрії з'єднань, є можливість перевірки профілю на міцність як центрально стиснутого (розтягнутого) стержня. Розрахунок на міцність виконується за геометричними даними перерізу профілю, з урахуванням гнучкості на найбільшому прольоті. Під прольотом розуміється відстань між сусідніми з'єднаннями профілів. Допустимі навантаження задаються відповідно до матеріалу профілю. Навантажувальне зусилля задається при формуванні відповідного профілю.

У будь-який момент роботи над конструкцією проектувальник має можливість перевірити всю конструкцію на наявність помилок, викликавши бібліотечну функцію "**Проверить конструкцію**". По завершенню перевірки конструкції формується список помилкових елементів. При переміщенні по цьому списку підсвічуються елементи, що викликають зазначену помилку. Це дозволяє достатньо швидко знайти елемент у проекті і внести необхідні зміни, навіть якщо елементів у конструкції, проектується дуже багато (рис.1.29).

**1.5.4. Підготовка робочої документації.** Розробивши конструкцію в цілому, проектувальник переходить до деталювання її елементів. Робочі креслення профілів і елементів вузлів утворюються автоматично - достатньо зазначити необхідний елемент конструкції. Для відрисовки отворів на робочих кресленнях у бібліотеці прийнято символічні позначення. Для кожного розміру отвору передбачається свій умовний знак. Всі умовні знаки зібрані в стандартну бібліотеку фрагментів КОМПАС-ГРАФІК, і при необхідності позначення можуть бути налаштовані на систему знаків, прийнятих на конкретному підприємстві- користувачі.



а при великій кількості з'єднань це виливається в достатньо трудомістку задачу. Крім того, після проробки всіх змін у конструкції прийдеться вносити зміни у велику кількість креслень. Всі ці роботи легко й у повному обсязі виконуються засобами бібліотеки. Модуль **“Смена профилей”** проводить аналіз поточної конструкції й підготовлює список типорозмірів профілів, що були застосовані в даній конструкції. Проектувальник вибирає необхідний типорозмір і вказує, на який його потрібно замінити.

Після цього необхідно виконати контроль конструкції й одержати список помилок, які виникли в результаті заміни. Далі, виходячи з конструкційних і виробничих міркувань, проектувальник приймає рішення про можливість даної заміни. Якщо заміна приймається, він усуває шляхом редагування елементів усі помилки і формує нову робочу документацію з урахуванням проведених змін.

Таким чином, на основі КОМПАС-ГРАФІК і бібліотеки може бути організована робота з каталогом готових конструкцій. Всі конструкції, розроблені за допомогою бібліотеки, збираються в загальний каталог, а замовнику пропонується зробити вибір із вже існуючих варіантів. Після вибору перевіряється наявність необхідних матеріалів у виробництві на даний момент часу, при необхідності виконується заміна й формується робоча документація.

Бібліотека дозволяє одержувати робочі креслення не тільки поелементно, але і відразу для всіх елементів конструкції.



## СИСТЕМИ ПАРАМЕТРИЧНОГО ТВЕРДОТІЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

### 2. ПРОВІДНА ТЕХНОЛОГІЯ ТВЕРДОТІЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ВАЖКОГО КЛАСУ *UNIGRAPHICS*

Система твердотільного моделювання **Unigraphics** призначена для гібридного моделювання, повного контролю над складними поверхнями в промисловому проектуванні та випуску креслярсько-конструкторської документації [13].

Унікальний гібридний компілятор системи UNIGRAPHICS базується на ядрі твердотільного моделювання Parasolid, що підтримує поверхні і тіла будь-якої форми. Перевага Parasolid полягає в Tolerant Modeling, що означає надійну роботу з імпортованими даними, завдання складних закруглень і фасок для граней і ребер будь-якого типу (закачування постійним і перемінним радіусом, виродження граней, що перетинаються і накладаються один на одного закруглення), вибірку обсягу і побудова еквідистант.

UNIGRAPHICS дозволяє розробляти віртуальні моделі виробів, які забезпечують випуск великого числа модифікацій одного виробу. Більшість систем неспроможна забезпечити середовище розробки виробу, що відповідає подібним жорстким вимогам. Але UNIGRAPHICS цілком задовольняє цим потребам. UNIGRAPHICS нівелює так звані “процесові серії” - послідовність операцій, що виконуються з деталями одного сімейства або з одним складанням у процесі розробки виробу. Застосування такого автоматизованого інструменту, що об'єднує серії процесів в один, набагато скорочує час випуску виробів. Система UNIGRAPHICS використовує прогресивний підхід, заснований на концепції майстра-моделі, що дозволяє робити природне нівелювання технологій керування даними.

#### 2.1. Можливості моделювання в Unigraphics

Гібридне моделювання системи UNIGRAPHICS об'єднує параметричне моделювання - за допомогою типових елементів - і традиційне геометричне, що є зручним для користувача. Зручний інтерфейс супроводжує інженера на всіх етапах використання системи - від проектування до виробництва і може змінюватися під конкретні вимоги.

Ядро гібридного моделювання дає можливість використовувати підходи засоби стосовно будь-якого задачі. Інженер має вибір між технологіями параметричного моделювання з використанням твердих тіл, параметризованих типових елементів, поверхонь і провідної геометрії. Користувач може вносити будь-які необхідні зміни в модель за допомогою методів гео-

метричного конструювання, а також перетворювати поверхні й тверді тіла в типові елементи і заносити їх у конструкторську базу даних. Можна сполучати параметричні або варіаційні моделі з не параметризованими даними при будь-якому представленні виробу.

## 2.2. Сумісність з іншими системами САПР

UNIGRAPHICS робить перехід з інших систем практично прозорим за допомогою великого набору прямих трансляторів, що дає змогу використовувати різноманітні системи САПР при опрацюванні даних як моделей, так і креслень. Корпорація EDS, першою серед розроблювачів САПР, випустила транслятор PDES/STEP і продовжує розвивати новітні технології обміну даними.

Система забезпечує повний контроль при моделюванні складних поверхонь в промисловому проектуванні. Головні компанії (кращі дизайнери) використовують складні поверхневі моделі (рис.2.1) не тільки для одержання обводів корпусу автомобіля, фюзеляжу літака, медичних протезів, але й для різноманітного роду споживчих товарів - від супергодинників і електродрилів до ергономічних портативних комп'ютерів, прагнучи виділитися на ринку, придумуючи сучасний дизайн для своєї продукції.

UNIGRAPHICS надає інженерам можливість проектування концептуальних вільних форм, минаючи використання окремих, як правило, дорогих систем дизайну, пов'язану з переведенням даних із системи в систему.



® UNIGRAPHICS

Рис.2.1. Сучасний дизайн високотехнологічної продукції в UNIGRAPHICS



Система пропонує досконалі засоби створення креслень, включаючи суміщення створення та редагування креслень, автоматичне розміщення видів із видаленням невидимих ліній, автоматичне створення перетинів і відновлення документації відповідно до зміненої моделі завдяки стовідсотковій асоціативності.

База даних UNIGRAPHICS побудована за принципом майстра-моделі, що дає надійний систематизований підхід до створення й перевірки геометрії виробу та пов'язаних із ним процесів. Це дозволяє виробникам, їхнім партнерам і постачальникам вести паралельні розробки й одержувати максимально ефективний результат на всіх стадіях - від проектування й оформлення креслень до розміщення компонентів і перевірки їх на сумісність, аналізу складальних креслень (рис.2.2) і одержання прототипу виробу. База даних підтримується новою потужною архітектурою, що дозволяє легко інтегрувати нові функціональні можливості в майбутніх версіях системи. Завдяки принципу майстра-моделі будь-які зміни у виробі автоматично знаходять висвітлення на всіх стадіях процесу створення та виробництва.

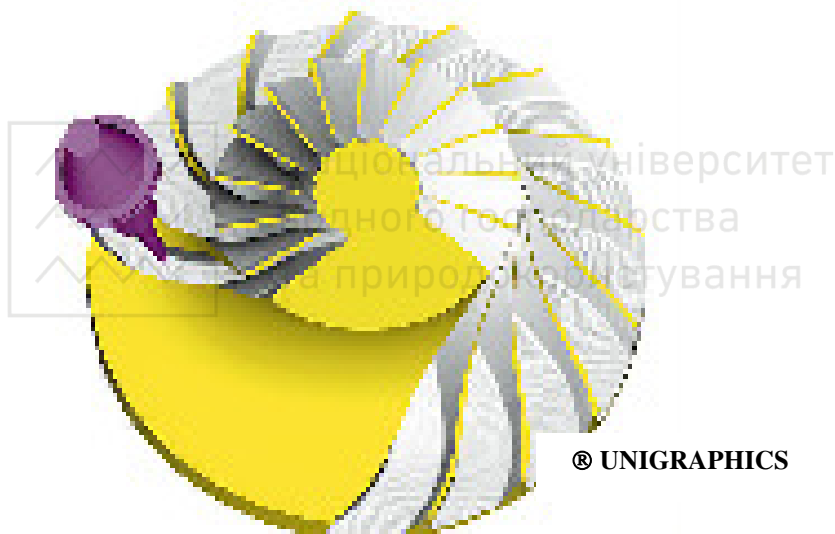
**® UNIGRAPHICS**

Рис.2.2. Аналіз складальних креслень, заснований на принципі майстра-моделі в UNIGRAPHICS



## 2.4. Механообробка деталей складних форм

Система дозволяє легко проектувати самі складні геометричні форми (рис.2.3). Лише деякі системи можуть використовувати подібні об'єкти, і ще менше число систем здатне довести до передачі робочих креслень на верстати з ЧПУ. Модулі механообробки UNIGRAPHICS постійно апробуються в різноманітних проектах машинобудування, аерокосмічної та автомобільної промисловості. В наш час додатки CAM UNIGRAPHICS приносять усе більшу користь і в інших галузях промисловості, що переходять до контурних поверхонь, щоб поліпшити ергономіку, естетичність і загальну привабливість своєї продукції. UNIGRAPHICS лідирує на ринку завдяки досвіду в області автоматизованої підготовки виробництва і наявності широкого спектра спеціалізованих модулів.



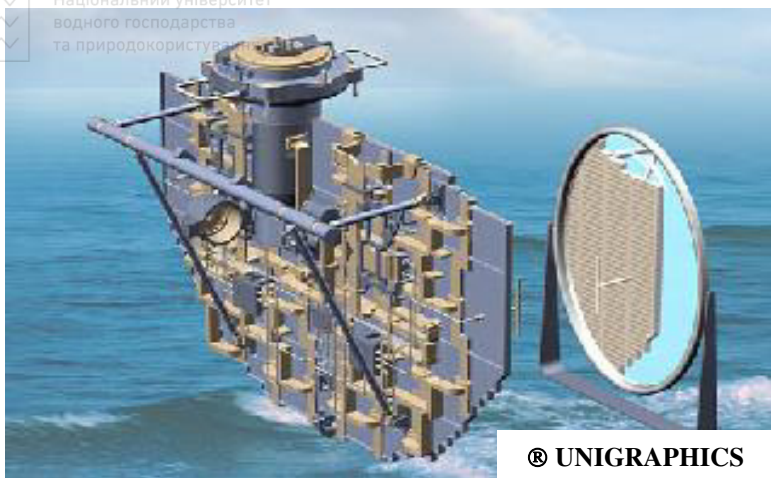
® UNIGRAPHICS

Рис.2.3. Проектування складних геометричних форм в UNIGRAPHICS

## 2.5. Додатки системи UNIGRAPHICS

**2.5.1. Проектування.** Даний набір модулів дає можливість застосування надпотужних засобів твердотільного гібридного моделювання, створення і редагування типових геометричних елементів, проектування поверхонь складної форми, можливість одержувати робочі креслення з будь-яких твердих моделей та інші можливості (рис.2.4).





® UNIGRAPHICS

Рис.2.4. Приклад застосування надпотужних засобів твердотілого гібридного моделювання в UNIGRAPHICS

**2.5.2. Механообробка.** Цей набір модулів надає користувачам можливість маніпулювати траєкторіями інструменту в графічному режимі, спостерігати за рухами й вносити графічні зміни, надає усі функції для обробки тіл обертання, засоби для обробки деталей 2-2.5 осьовим фрезеруванням, можливості для чорнкової обробки однієї або декількох порожнин і видалення великої кількості матеріалу навколо елементів довільної форми, наприклад, матриць і пуансонів, можливість в інтерактивному режимі симулювати, перевіряти і показувати на екрані траєкторію руху інструменту, можливість використовувати потужну систему візуалізації, призначену для симуляції процесу механообробки в режимі, найбільше наближеному до реального виробництва й інші можливості (рис.2.5).

**2.5.3. Інженерний аналіз.** Набір модулів, використовуючи який, користувач може: створювати кінцевоелементні моделі й управляти ними, включаючи можливості автоматичного створення сітки 2-х і 3-х-вимірних елементів, здійснювати складний кінематичний аналіз і симуляцію практично любого 2-х або 3-х-вимірного механізму в середовищі UNIGRAPHICS, роздивитися дефекти на поверхні деталі, пустоти, визначити, чи можна цілком відлити деталь із зазначеного пластика, визначити витрати матеріалу, а також автоматично визначити умови обробки (рис.2.6).

**2.5.4. Спеціальні додатки.** Додатки надають можливості візуалізації, анімації й аналізу складальних креслень, створення прес-форм, проектування прокладки електропроводки і трубопроводів тощо (рис.2.7).

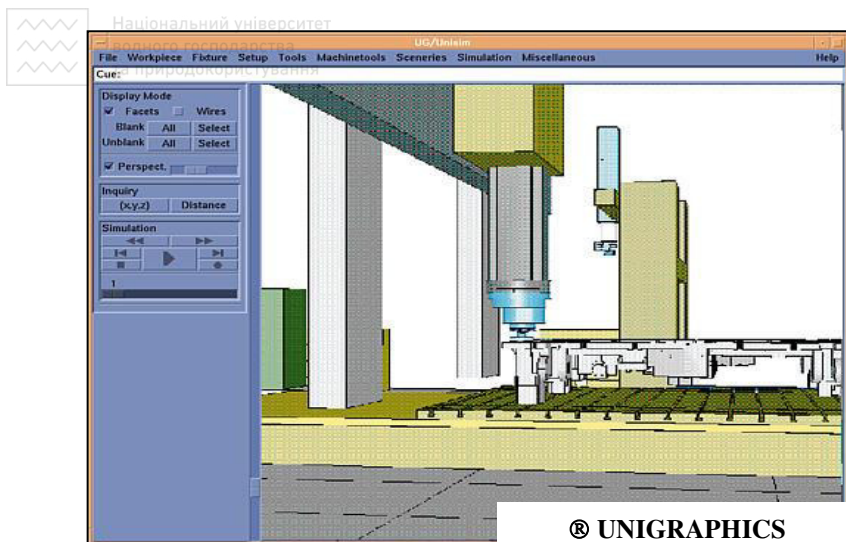


Рис.2.5. Приклад застосування модуля механообробки в UNIGRAPHICS

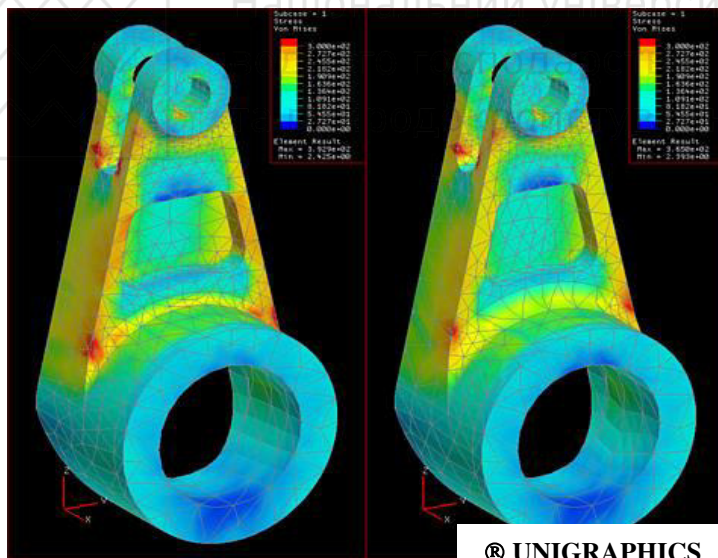


Рис.2.6. Інженерний аналіз в UNIGRAPHICS

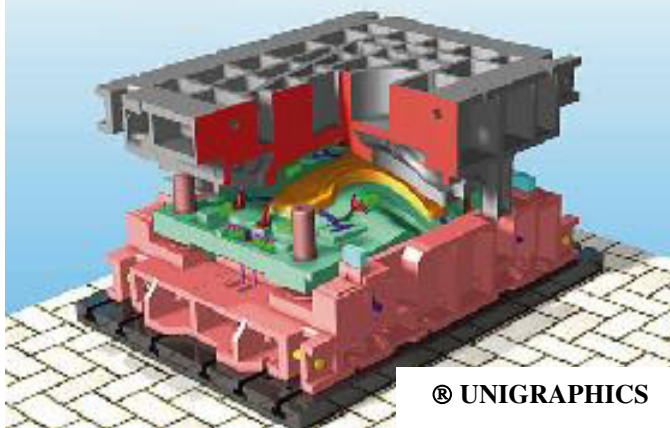


Рис.2.7. Приклад використання спеціальних додатків в UNIGRAPHICS

## 2.6. Модулі системи UNIGRAPHICS

**2.6.1. Модуль UG/Solid Modeling** надає можливість застосовувати найпотужніші засоби твердотілого гібридного моделювання. Користувач одержує можливість поєднувати використання традиційних функцій твердотілого моделювання, поверхонь і кривих, і сучасні параметричні методи. UG/Solid Modeling дає можливість інженерам легко створювати 2- і 3-х-мірні провідні моделі, одержувати тверді тіла витягуванням або обертанням, виконувати булевські операції, а також редагування за допомогою параметрів. Модуль включає засоби роботи з варіаційними ескізами для швидкої й ефективної пропрацьованості концепції проекту, а також інструментарій для виконання загальних задач моделювання і редагування. Графічне середовище, побудоване на основі піктограм, дуже просте для розуміння й освоєння. UG/Solid Modeling є базою для модулів UG/Features Modeling і UG/Freeform Modeling (рис.2.8).

**2.6.2. Модуль UG/Features Modeling** дозволяє створювати й редагувати типові геометричні елементи, такі як різноманітного виду отвори, пази, кармани, бобишки, труби, балки, заокруглення, фаски, а також стандартний набір графічних примітивів - циліндри, конуси, блоки, сфери тощо. Також в модулі є можливість вибору об'єму з твердих тіл і створення тонкостінних оболонок. Типові елементи визначаються параметрично для можливого наступного редагування габаритних і позиційних розмірів. Користувач може конструювати різноманітні стандартні елементи, що будуть

зберігатися в загальній директорії й у будь-який момент можуть бути додані в модель. Типові елементи позиціонуються щодо інших елементів або об'єктів, а також можуть бути розмножені, створюючи асоціативні набори елементів, розташовані чи в індивідуальному порядку, чи у вигляді простих масивів (рис.2.9).



® UNIGRAPHICS

Рис.2.8. Приклад застосування найпотужніших засобів твердотілого гібридного моделювання в модулі UG/Solid Modeling



® UNIGRAPHICS

Рис.2.9. Створення моделі складної форми в модулі UG/Features Modeling.

**2.6.3. Модуль UG/Freeform Modeling** забезпечує проектування поверхонь складної форми, таких як кузов автомобіля, зовнішні аеродинамічні обводи літака чи інші промислові вироби, і складає основу для об'єднання техніки твердотільного і поверхневого моделювання в єдиний потужний інструментарій. Застосовувані функції включають “заметание” за кривими, створення масштабованих форм за 1-ю, 2-а або 3-а направляючими, складні заокруглення постійного й перемінного радіуса та заокруглення на основі кінцевих перетинів, поверхні для закриття розривів між тілами. Також підтримуються можливості побудови тіл на сітці точок/кривих і аналіз результатів експериментів шляхом побудови поверхонь через “хмару точок”. Модель можна редагувати або модифікуючи вихідні криві та змінюючи чисельні значення параметрів, або за допомогою законів, описаних математично чи у виді графіків, що контролюють, наприклад, заокруглення перемінного радіуса, або змінюючи перетини, що задаються (рис.2.10).

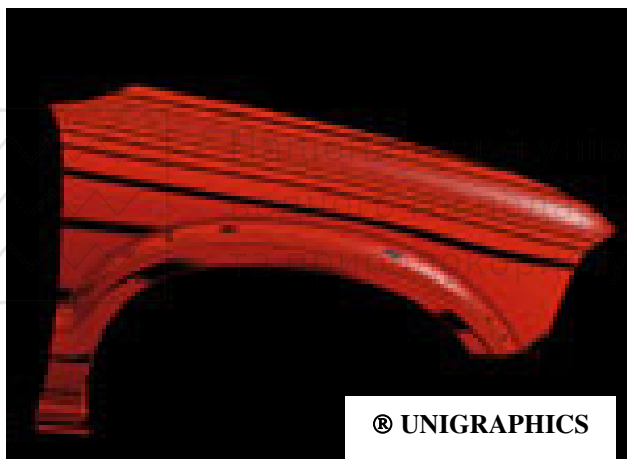


Рис.2.10. Проектування поверхонь складної форми в модулі UG/Freeform Modeling

**2.6.4. Модуль UG/User-Defined Features** підтримує інтерактивні засоби створення параметричних сімейств тіл для наступного їхнього використання і редагування, базуючись на концепції обумовленого користувачем типового елемента. Модуль включає всі необхідні засоби для виклику створених раніше за допомогою стандартних засобів UNIGRAPHICS типових параметричних твердотільних моделей, встановлення відношення між їхніми параметрами та визначення перемінних параметрів для даних елементів. Створені користувачем типові елементи знаходяться в директорії, до якої може звернутися будь-який конструктор, що використовує даний модуль. Після того, як такий елемент доданий у модель, будь-який його параметр може бути змінений за допомогою звичайної техніки редагування (рис.2.11).



Рис.2.11. Інтерактивні засоби створення параметричних сімейств тіл в модулі UG/User-Defined Features

**2.6.5. Модуль UG/Drafting** надає можливість конструктору чи інженеру отримати робочі креслення з будь-яких твердих моделей. UG/Drafting, побудований на технології гібридного моделювання, створює розміри, асоційовані з геометричною моделлю; таким чином, усі зміни правильною уявою відбиваються на кресленні, внаслідок чого скорочується час на відновлення креслень. Види креслення, сховані лінії й асоціативні перетини також автоматично обновляються при зміні моделі. Автоматичне розміщення видів включає постановку ортогографічних проекцій, перетинів будь-якого типу, допоміжних і деталізованих видів. UG/Drafting підтримує всі основні системи оформлення креслень - ANSI, ISO, DIN, JIS і ЄСКД, а також налаштування на будь-які інші стандарти оформлення конструкторської та технологічної документації. Складальні креслення легко виконуються з використанням інформації, що генерується за допомогою модуля UG/Assembly Modeling, включаючи можливості швидкого одержання рознесених видів у кольорі й автоматичної простановки позицій. Використання модуля UG/Drafting при підготовці однолистового креслення чи складального у кольорі або багатolistового складного креслення, а також по-компонентного креслення істотно скорочує витрати часу і вартість креслярських робіт.

**2.6.6. Модуль UG/Assembly Modeling** – це модуль створення та редагування складальних креслень. UG/Assembly Modeling забезпечує реалізацію синхронної розробки виробу “униз” і “нагору”. Майстер-моделі, створені за допомогою цього модуля можна розробляти і редагувати в контексті



цілого складального креслення. Компоненти легко стикувати і позиціонувати, вони зберігають асоціативність між собою, що оптимізує всю роботу й значно знижує вимоги до обсягу пам'яті комп'ютера. Параметричне моделювання складальних креслень надає додаткові можливості для опису умов стикування між компонентами та для визначення груп загальних кріплень і дубльованих деталей. Архітектура даного додатку дозволяє створювати дуже великі складальні креслення, з котрими одночасно може працювати група конструкторів. Це надає можливість кожному члену колективу виконувати свою частину роботи одночасно зі всіма іншими. Доступ до модифікацій деталей здійснюється або за іменними правилами, визначеними замовником, або за правилами конфігурації додатку UG/Manager.

**2.6.7. Модуль UG/Advanced Assemblies** - це додаток, що об'єднує можливості прискореного відображення на екрані зафарбованих зображень і аналізу зазорів, забезпечує також контроль завантаження даних, що дозволяє фільтрувати структуру складань. UG/Advanced Assemblies дозволяє управляти, використовувати й аналізувати цифрові моделі для проведення всього процесу віртуального макетування при створенні особливо складних виробів. Даний інструментарій дає користувачам можливість оптимізувати роботу і підвищити продуктивність при проведенні візуалізації й аналізу цілого виробу, окремих підсистем або цільових підеlementів. Можливості альтернативного уявлення дозволяють проводити швидку перевірку зазорів і створення видів із невидимими лініями. Результати тестування зазорів можуть бути збережені для повторного використання, і, як варіант, можуть використовуватися в пакетному режимі. Цей додаток дає точну відповідь у випадку будь-яких жорстких накладень. Група конструкторів може задати й одночасно використовувати зони і набори компонент, що полегшує вибір необхідних деталей у великій структурі виробу для внесення конструкторних змін.

**2.6.8. Модуль UG/CAM Base** забезпечує інфраструктуру, що зв'язує всі модулі механообробки з загальними можливостями в легкому для роботи середовищі, що ґрунтується на стандарті Motif. Цей базовий модуль дає користувачам можливість маніпулювати траєкторіями інструменту в графічному режимі, спостерігати за рухами й вносити графічні зміни, такі як зміна траєкторій. Модуль також включає загальну процедуру для створення операцій свердління, розточки, нарізування різьб тощо. Інтерфейс, що на-строюється під користувача дозволяє відкривати та закривати доступ до окремих функцій у меню. Це скорочує машинний час і дозволяє сортувати задачі механообробки. Підстроювання під користувача розширено в результаті використання шаблонів операцій, що дозволяє створювати власні спеціальні операції типу чорнкової обробки чи виробництва сімейства деталей, що стали стандартизованими через параметри, що часто використо-вуються та єдину методику (рис.2.12).



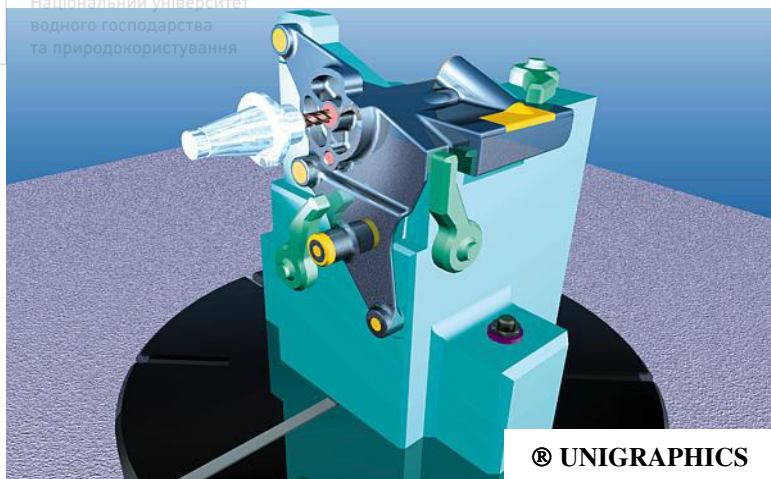
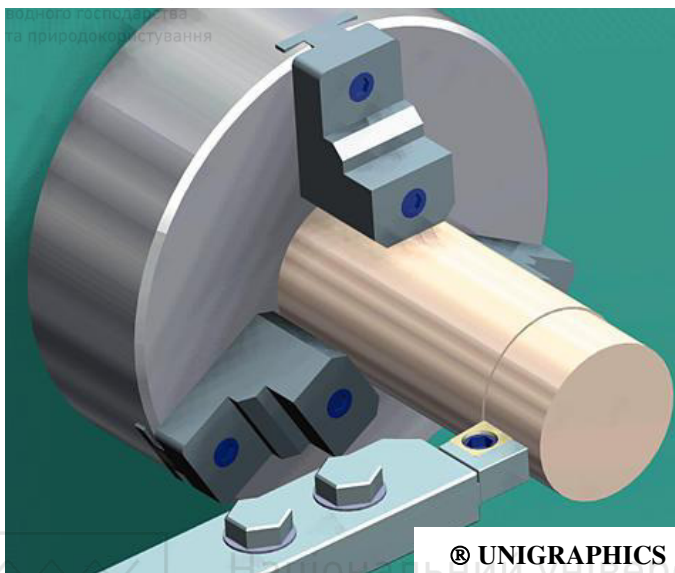


Рис.2.12. Модуль UG/CAM Base механообробки в середовищі, що основане на стандарті Motif

**2.6.9. UG/Postprocessor.** Постпроцесор, можливості якого неодноразово перевірені на практиці при використанні різноманітних додатків, включаючи фрезерування (2-5 ос.), токарну обробку (2-4 ос.), плазменне різання і 2-4-ос. дровову електроерозійну обробку, дає можливість користувачам легко створювати власні постпроцесори для більшості верстатів із ЧПК.

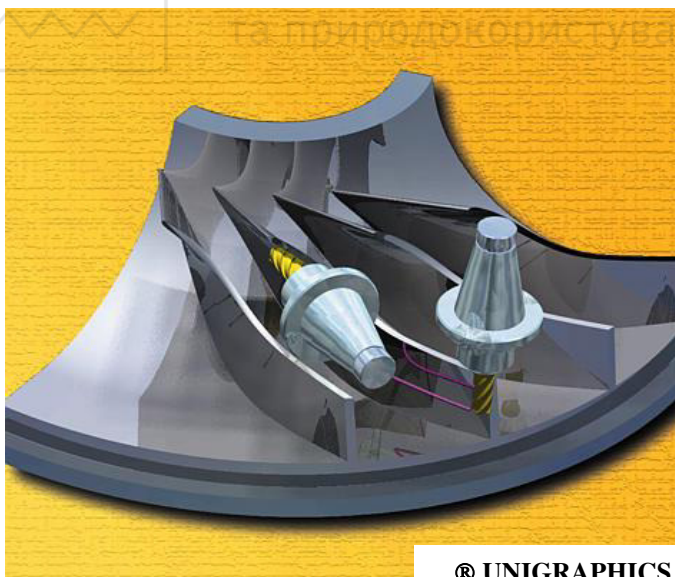
**2.6.10. Модуль UG/Lathe** забезпечує усі функції для обробки тіл обертання. UG/Lathe підтримує повну асоціативність між геометрією деталі і траєкторією інструменту для автоматичного внесення змін. Модуль містить процедури для чорнової обробки, чистової обробки з множиною проходів, проточки канавок і нарізування різьби, свердління. Результатом роботи є файл, готовий для обробки постпроцесором для одержання програм у кодах верстата. Користувачі можуть контролювати швидкість подачі інструмента, частоту обертання шпинделя. Незмінні параметри беруться за замовчанням. Встановлені параметри можна перевірити після створення траєкторії інструменту та задання графічного виведення траєкторії на екран, коли на дисплеї виконується симуляція руху інструменту, а результати поміщаються у файл CLSF (Cutter Location Source File). Траєкторію можна зберегти, знищити або редагувати (рис.2.13).

**2.6.11. Модуль UG/Variable-Axis Milling** підтримує функції фіксованого та багатоосевого фрезерування на будь-якій поверхні UNIGRAPHICS. Можна задати повну 3-5-осову обробку, орієнтацію інструменту та якість обробки поверхні. Передбачено можливість контролю траєкторій руху інструменту з використанням параметрів поверхні для проектування цих траєкторій на поверхню, а також за довільними кривими чи точками (рис.2.14).



® UNIGRAPHICS

Рис.2.13. Моделювання обробки тіл обертання в модулі UG/Lathe



® UNIGRAPHICS

Рис.2.14. Моделювання процесів фіксованого та багатоосевого фрезерування в модулі UG/Variable-Axis Milling

**2.6.12. Модуль UG/Planar Milling** пропонує всі засоби для обробки деталей фрезеруванням. Зміни в геометрії автоматично відслідковуються завдяки повній асоціативності. UG/Planar Milling містить такі процедури, як контурна обробка з множиною проходів, послідовна обробка карманів і обробка методом “зіг-заг”. Визначаються області обходу кріпильного інструменту та внутрішні переміщення. UG/Planar Milling також містить процедури для багаторівневої обробки карманів і обробку важкодоступних ділянок знизу карманів. Можливості цього модуля були розширені для визначення геометрії меж і неопрацьованих областей. UG/Planar Milling також створює кордони неопрацьованих ділянок для наступної обробки інструментом меншого діаметра. Включено додаткові команди керування верстатом, такі як контроль подачі охолоджувальної рідини, корекція розміру інструменту тощо (рис.2.15).

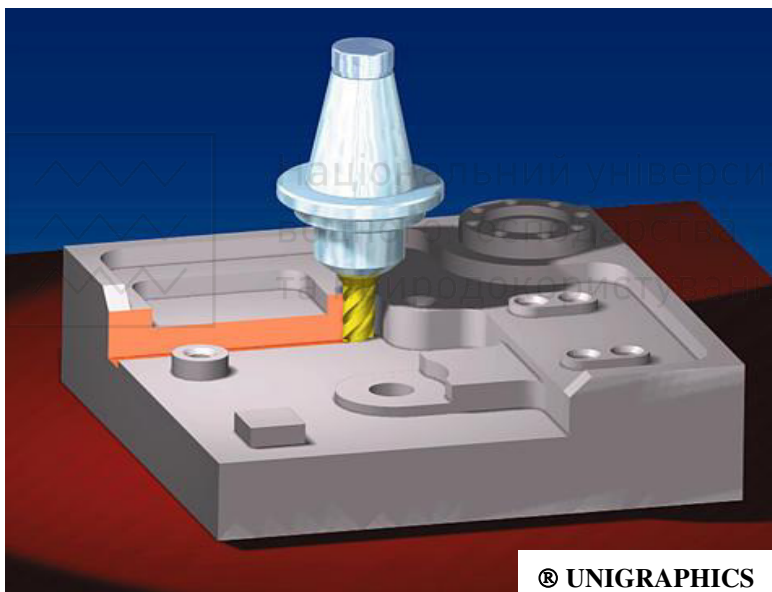


Рис.2.15. Моделювання процесів обробки деталей 2-2.5 ос. фрезеруванням в модулі UG/Planar Milling

**2.6.13. Модуль UG/Core & Cavity Milling** використовується при виробництві прес-форм і штампів для машино- та автомобілебудування. Цей модуль забезпечує всі можливості для чорнової обробки однієї чи декількох порожнин і видалення великої кількості матеріалу навколо елементів довільної форми, наприклад, матриць і пуансонів. Головне місце в класі подібних додатків займає функція створення заданих траєкторій на елементах дуже складної форми. Функція обробки порожнин дозволяє робити обробку

ку елементів, що мають множинні розриви та накладення поверхонь, які іноді виникають при передачі геометрії з інших систем. При виявленні аномалій UG/Core & Cavity Milling може або скорегувати їх, або опрацювати порожнину з заданою точністю. Цей модуль дозволяє цілком автоматизувати процес обробки матриць і пуансонів (рис.2.16).

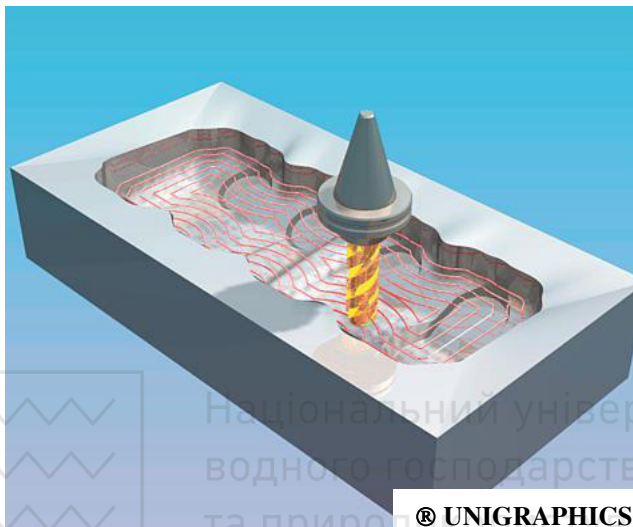


Рис.2.16. Моделювання процесів створення прес-форм і штампів в модулі UG/Core & Cavity Milling

**2.6.14. Модуль UG/Fixed-Axis Milling** пропонує великий набір засобів отримання траєкторій для 3-осьової фрезерної обробки (рис.2.17). Можлива обробка практично будь-яких змодельованих тіл або поверхонь. Модуль має потужні можливості для вибору граней або частин деталей, які підлягають обробці. Він забезпечує використання множини методів і шаблонів обробки, включаючи обробку за заданими межами, радіальну, спіральну й довільну обробку. Методи обробки містять множину шаблонів обробки, таких як концентрична та радіальна. Крім того, є методи контролю режимів різання при переміщенні інструменту вверх та вниз, а також по спіралі. Модуль дозволяє легко визначити недооброблені області, що дає користувачу можливість провести доопрацювання цих областей. UG/Fixed-Axis Milling симулює траєкторію руху інструменту й створює текстовий файл, що описує цю траєкторію. Користувач може прийняти дану траєкторію й зберегти параметри чи відмовитися від неї та змінити параметри.

**2.6.15. Модуль UG/Flow Cut** дозволяє одержати велику економію часу при попередній або остаточній обробці виробів. Цей модуль, що працює в сполученні з UG/Fixed-Axis Milling, аналізує грані деталей (на основі пара-

метрів) і відслідковує всі місця, у яких інструмент має точки подвійного контакту. Такі області, як правило, виникають на ввігнутих кутах деталей. Користувач може задати інструмент, бітангенціальність якого визначає траєкторію різання. Процесор автоматично генерує однократні чи багатократні проходи інструменту для видалення матеріалу в цих областях. При роботі з складними пуансонами чи матрицями даний модуль значно зменшує зусилля, необхідні для остаточної обробки деталей або створення однорідних умов до проведення остаточної обробки (рис.2.18).

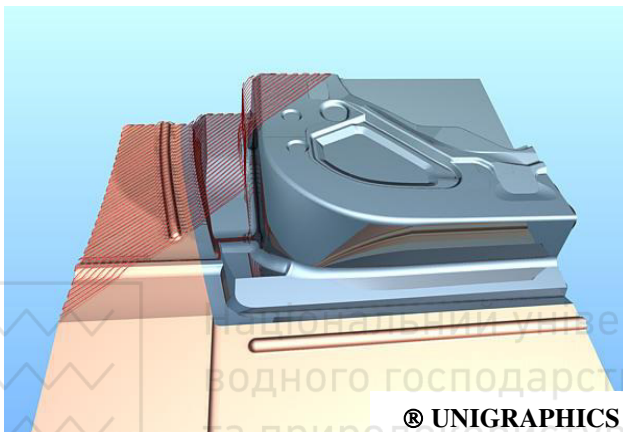


Рис.2.17. Моделювання процесу 3-осьової фрезерної обробки. в модулі UG/Fixed-Axis Milling

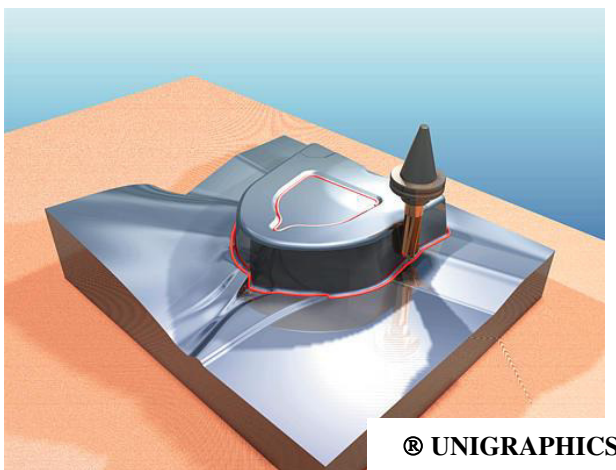


Рис.2.18. Модуль UG/Flow Cut – модуль попередньої чи остаточної обробки виробів

**2.6.16. Модуль UG/Sequential Milling** використовується в ситуаціях, коли користувачу потрібно контролювати кожний крок створення траєкторії інструмента. UG/Sequential Milling цілком асоціативний із вихідною геометрією. Модуль націлений на сегмент ринку, де раніше використовувалися системи типу APT, проте він набагато продуктивніший. Він дозволяє користувачам в інтерактивному режимі створювати траєкторію руху інструмента вроздріб, зберігаючи повний контроль на кожному кроку. Нова функція LOOPING - завдання циклів - дає можливість користувачу генерувати множину проходів по поверхні, визначивши зовнішню і внутрішню траєкторії. При цьому UG/Sequential Milling генерує проміжні кроки.

**2.6.17. Модуль UG/Genius** дозволяє легко і ефективно створювати й класифікувати технологічні дані. Потужна реляційна база даних спеціально призначена для підтримки планування виробництва, а також керування даними про інструменти, програми ЧПК, замовленнях і складах. UG/Genius базується на принципі модульності, що дозволяє легко розширювати й адаптувати систему відповідно до вимог користувача. До числа багатьох переваг системи входять графічний каталог інструменту, інтерфейс до модулів CAM UNIGRAPHICS, а також інтерфейси до багатьох систем планування виробництва й прямого керування верстатами з ЧПК DNC.

**2.6.18. Модуль VERICUT** в інтерактивному режимі симулює, перевіряє та показує на екрані траєкторію руху інструмента (рис. 2.19).

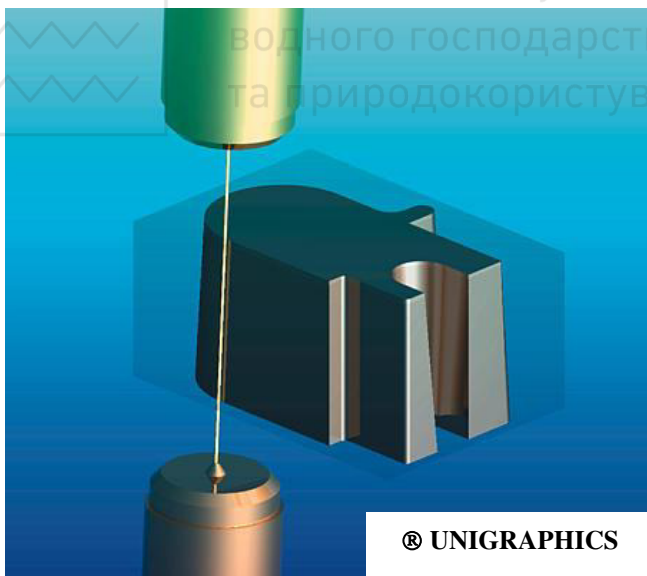


Рис.2.19. Симуляція, перевірка та показ на екрані траєкторії руху інструменту в модулі VERICUT



Даний пакет фірми CGTech є високопродуктивним засобом тестування додатків для механообробки без виходу на верстат. Це дозволяє виключити створення прототипів, скоротити час наладки та мінімізувати зношення інструменту та його підготовку. VERICUT створює зафарбовану модель обробленої деталі на екрані комп'ютера. Користувач може побачити, де були допущені помилки. У ході тесту також обчислюються обсяг готової деталі й обсяг матеріалу, що видаляється. VERICUT забезпечує повний графічний контроль за розмірами, розташуванням і орієнтацією заготовки й показує токарські операції, операції фрезерування та свердління від 2 до 5 осей.

**2.6.19. Модуль UG/Wire EDM** забезпечує обробку деталей дротом у 2-х і 4-х- осьовому режимі, підтримує моделі UNIGRAPHICS у дротовій геометрії чи твердому тілі (рис.2.20). Всі операції зберігають асоціативність при редагуванні і відновленні моделі. Пропонуються різноманітні види операцій, наприклад, зовнішня та внутрішня обробка з множиною проходів і обробка з повним зніманням матеріалу. Також підтримуються траєкторії, що враховують розташування прижимів на заготовці, різноманітні типи дроту й установки режимів генератора. Модуль UG/Wire EDM підтримує різноманітні популярні електроерозійні верстати, включаючи AGIE, Charmilles тощо.



® UNIGRAPHICS

Рис.2.20. Моделювання процесу обробки деталей дротом у 2-х і 4-х- осьовому режимі в модулі UG/Wire EDM

**2.6.20. Модуль UG/Unisim** надає користувачу потужну систему візуалізації, призначену для симуляції процесу механообробки в режимі, най-



більше наближеному до реального виробництва. Це скорочує машинний час, усуває помилки та підвищує якість механообробки для складного виробництва. UG/Unisim охоплює все виробниче середовище – різальний верстат і кріпильний інструмент, робочі частини - для симуляції й перевірки.

**2.6.21. Пре- і постпроцесор UG/GFEM PLUS** призначений для створення кінцевоелементних моделей і керування ними, включаючи можливості автоматичного створення сітки 2-х і 3-х-мірних елементів (рис.2.21). Обробка кінцевоелементної моделі здійснюється в тому ж файлі, у якому утримуються геометричні дані. Результати аналізу, наприклад, напруги й зсуву, можуть бути виведені разом із вихідною геометричною моделлю. Додатково пропонується модуль розрахунків MKE GFEM FEA для задач лінійної статистики та теплопередачі з використанням ізотропних і ортотропних матеріалів.

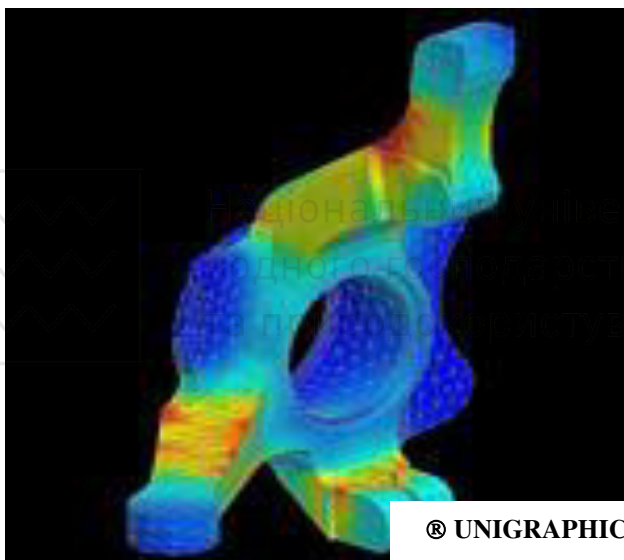


Рис.2.21. Приклад створення кінцевоелементних моделей в UG/GFEM PLUS

**2.6.22. Модуль UG/Mechanisms** призначений для складного кінематичного аналізу та симуляції практично любого 2-х або 3-х-мірного механізму в середовищі UNIGRAPHICS.

Можна проводити перевірку різноманітних варіантів розміщення механізмів із можливістю аналізу на мінімальну відстань, пересічення та з використанням трасування. Унікальний інтерактивний кінематичний режим дозволяє контролювати до 5 вузлів одночасно. Модуль аналізує сили реакції та виводить графіки зміщень, швидкостей і прискорень. Отримані сили реакції можуть бути пізніше використані в MKE. Модуль оснащений бібліотекою елементів вузлів механізмів. Можливе використання геометрії

для розміщення вузлів і додатків сил, а також для визначення траєкторій для механообробки. UG/Mechanisms використовує вмонтований розв'язувач ADAMS/ Kinematics фірми Mechanical Dynamics Inc. і може створювати вихідний файл для повного розв'язувача ADAMS/Solver у випадку більш складних прикладних задач.

**2.6.23. Додаток UG/GFEM FEA** вирішує задачі лінійної статyki, вібрації та теплопередачі; запускається з модуля UG/GFEM PLUS. Контрольні параметри і навантаження задаються попередньо в інтерактивному режимі. Аналіз у пакетному режимі запускається інтерактивно. Після передачі завдання на виконання, процеси UNIGRAPHICS стають доступними для подальшого моделювання.

**2.6.24. Модуль UG/Scenario** дозволяє маніпулювати різноманітними варіантами виробу на ранніх стадіях проекту з використанням методів кінцевоелементного аналізу для пошуку оптимального конструкторського рішення (рис.2.22). Операції можуть провадитися з будь-якими типами об'єктів - від окремих частин і складальних креслень до моделей WAVE. UG/Scenario використовує NASTRAN V68.2.

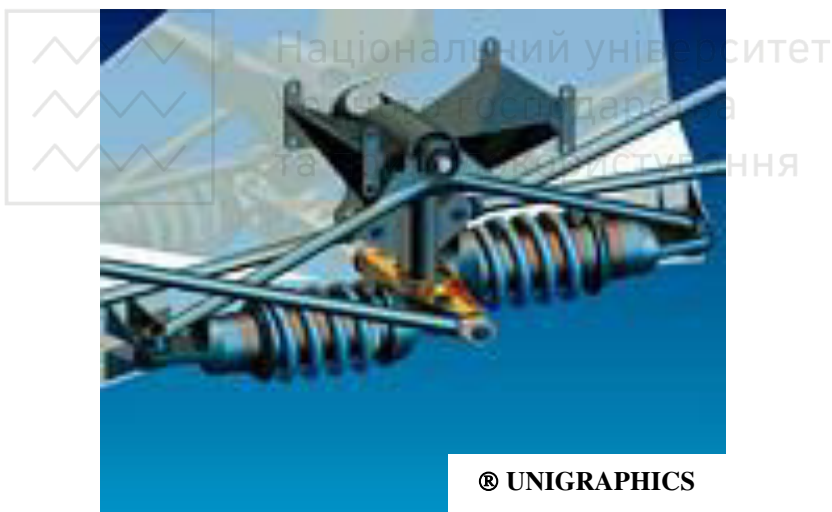


Рис.2.22. Приклад пошуку оптимального конструкторського рішення в процесі маніпулювання різноманітними варіантами виробу з використанням методів кінцевоелементного аналізу в модулі UG/Scenario

**2.6.25. Модуль UG/MF-Flowcheck** розроблений фірмою Moldflow і інтегрований у UNIGRAPHICS. UG/MF-Flowcheck показує дефекти на поверхні деталі, пустоти, визначає, чи можна цілком відлити деталь із зазначеного пластика, дозволяє визначити витрати матеріалу, а також автоматично визначає умови обробки (рис.2.23).



Навігатор ший unigraphics  
вс  
та

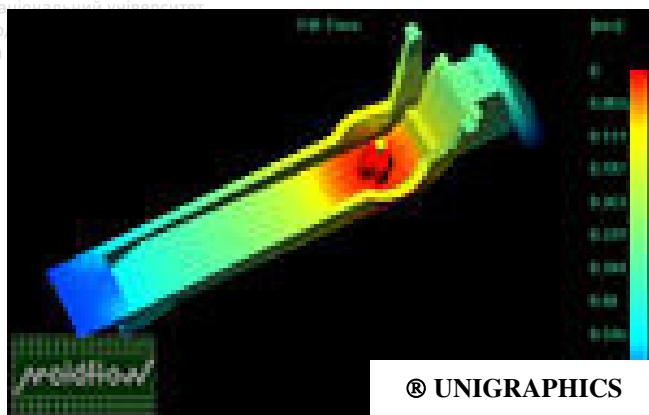


Рис.2.23. Аналіз дефектів на поверхні деталі в модулі UG/MF-Flowcheck

Модуль забезпечує два типи аналізу:

- враховує поведінку пластика і механізми передачі тепла, що особливо важливо для тіл із неоднорідною товщиною стінок;
- визначає ступінь заповнення форми.

**2.6.26. Модуль UG/Open** надає користувачу великий набір засобів програмування. UG/Open комбінує програмні засоби GRIP (графічне програмування в інтерактивному режимі). User Function є самим комплексним програмним засобом UNIGRAPHICS, що поставляється у вигляді бібліотеки і є “дверима” у UNIGRAPHICS, забезпечуючи прямий доступ до його основних можливостей. GRIP допомагає користувачам автоматизувати операції з програмування верстатів із ЧПК, роботу з групами моделей, установку параметрів і виробництво моделей і креслень. Крім того, взаємодія між GRIP і User Function дозволяє існуючим користувачам продовжувати використання поточних засобів підлаштовування під свої задачі й одночасно користуватися всіма перевагами інструментів такого покоління.



### 3. СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ВИСОКОГО РІВНЯ *PRO/ENGINEER*

Система автоматизованого проектування високого рівня Pro/ENGINEER розроблена компанією Parametric Technology Corporation (PTC) (США) [14].

Структура Pro/ENGINEER дозволяє підібрати оптимальну конфігурацію системи з декількох десятків наявних сьогодні спеціалізованих функціональних модулів. Серед них:

- **Pro/ANIMATE** - фотореалістична анімація;
- **Pro/ASSEMBLY** - проектування та керування зборками;
- **Pro/CABLING** - тривимірне розведення кабелів і джгутів;
- **Pro/CASTING** - проектування ливарного оснащення;
- **Pro/COMPOSITE** - проектування деталей з композитних матеріалів;
- **Pro/DESIGNER** - швидке пророблення концептуального дизайну виробу;
- **Pro/DETAIL** - створення робочих креслень у відповідності зі стандартами ANSI, ISO (ЕСКД), DIN і JIS;
- **Pro/DEVELOP** - засоби створення додаткових модулів;
- **Pro/DIAGRAM** - створення та документування принципових схем: електротехніка, трубопроводи, вентиляція;
- **Pro/DIEFACE** - глибоке штампування;
- **Pro/ECAD** - обмін графічними файлами з системами електричних ECAD;
- **Pro/FLY-THROUGH** - візуалізація при роботі з великими зборками;
- **Pro/HARNESSES-MFG** - створення креслень розгортки кабелів і джгутів, списків комплектуючих;
- **Pro/INTERFACE** - обмін даними з іншими CAD-системами;
- **Pro/LIBRARYACCESS** - доступ до баз даних бібліотек промислових стандартів;
- **Pro/MESH** - генерація сітки кінцевих елементів;
- **Pro/MANUFACTURING** - генерація ЧПУ-програм обробки виробу;
- **Pro/MOLDESIGN** - проектування прес-форм;
- **Pro/NC-CHECK** - імітація видалення матеріалу при механообробці;
- **Pro/NCPOST** - інваріантний інтерактивний постпроцесор;
- **Pro/PDM** - управління проектом;
- **Pro/PROCESS ASSEMBLIES** - розробка технологічної карти зборки;
- **Pro/PHOTORENDER** - створення фотореалістичних зображень 3-D моделей;
- **Pro/PIPING** - генерація та прокладка трубопроводів гідравлічних і пневматичних систем у 3-D зборках;



- **Pro/PLOT** - вихід на креслярські автомати;
- **Pro/REPORT** - одержання специфікації;
- **Pro/SCAN-TOOLS** - згладжування складних кривих і поверхонь, отриманих скануванням об'єктів;
- **Pro/SHEETMETAL** - проектування та виготовлення виробів з листового металу;
- **Pro/SURFACE** - проектування параметричних складних поверхонь;
- **Pro/WELDING** - визначення порядку виконання та вимог до зварних з'єднань.

### 3.1. Модулі системи Pro/ENGINEER

**3.1.1. Модуль Pro/DETAIL** призначений для виготовлення робочих креслень у відповідності зі стандартами ANSI, ISO (ЕСКД), DIN і JIS. Pro/DETAIL надає конструктору великі можливості простановки розмірів, призначення допусків і посадок, побудови розрізів, перетинів і видів. Він дозволяє розробляти стандартні виробничі креслення, виходячи з твердотільної моделі Pro/ENGINEER. Як і всі модулі Pro/ENGINEER, Pro/DETAIL забезпечує повну асоціативність з моделлю: будь-які зміни параметрів моделі на кресленні будуть оновлені у твердотільній моделі й у відповідних частинах усього проекту.

Креслення створюються розміщенням проекцій моделі на креслярському листі та вибором орієнтації моделі чи вказанням раніше заданої орієнтації. В модулі є наявності набір різних видів і проекцій. Оскільки креслення виконується безпосередньо з моделі, всі розміри вже визначені, повне оброзмірення спрощено та майже цілком автоматизоване.

У режимі креслення Pro/DETAIL можна:

- створювати креслення, що включають схеми зборки, множинні моделі й технологічну інформацію. Кожне креслення може містити безліч аркушів і необмежену кількість видів, включаючи зображення зборок у режимі «explode»;
- визначати глобальні параметри конфігураційних файлів для забезпечення відповідності креслень внутрішніми стандартами;
- автоматично оброзмірювати види і проекції за допомогою автоматичної команди проставлення розмірів, що задаються;
- виконувати повне геометричне оброзмірювання та призначення допусків і посадок, підтримувати різноманітні типи розмірів і стандартів;
- автоматично створювати цілком асоціативне штрихування перетинів деталей і вузлів;
- установлювати таблиці до креслень, формати креслень і текстові шрифти;
- формувати бібліотеку символів;
- вводити позначення для зварних з'єднань;



- анотувати креслення;
- імпортувати файли креслень у стандартах IGES, DXF, SET;
- експортувати файли креслень у форматах IGES, PostScript і виводити їх на різні плотери.

**3.1.2. Модуль Pro/SHEETMETAL** - проектування і виготовлення виробів з листового металу. Модуль забезпечує проектування параметричних твердотільних моделей з листового металу з використанням таких специфічних технологічних операцій, як розміщення на листі, обрізка, підсікання, пробивання, формування, плазмова, газова та лазерна вирізка за контуром.

Завдяки Pro/SHEETMETAL можна легко розробляти моделі деталей, використовуючи інтуїтивні, специфічні для листового металу прийоми проектування. Виготовлену модель можна розгинати для одержання шаблону викройки, використовувати в чи зборках застосовувати для створення креслень. Можливості Pro/SHEETMETAL, зокрема, включають:

- проектування моделей з об'єктами, специфічними для виробів з листового металу - стінками, вирізами, прошиваннями, підсіканнями, виступами, загинами та розгинами;
- розробку об'єктів у зігнутому чи розігнутому вигляді;
- автоматичну генерацію плоских шаблонів, з урахуванням припусків на вигин;
- проектування деталей з листового металу безпосередньо в зборці;
- моделювання об'єктів форм для включення складних об'єктів штампування, таких як косинки, жалюзі та ребра.

Для визначення технологічних операцій, необхідних для одержання деталі, Pro/SHEETMETAL використовує об'єктно-орієнтований підхід. Pro/SHEETMETAL автоматично розраховує траєкторію інструмента. Виготовлена модель параметрично пов'язана з шаблоном. Технологічні можливості Pro/SHEETMETAL дозволяють:

- розташовувати шаблони на робочому листі за допомогою автоматичного заповнення нею гніздовими групами;
- перевіряти листові припуски, що використовуються включаючи найменування та кількість деталей на листі заготовки, відсоток площі, що використовується та загальну площу заготовки;
- створювати вирубки, виступи, підрізання, здійснювати газове, лазерне, плазменно-дугове різання й операцію формування;
- автоматично ідентифікувати і вирубувати об'єкти призначеним для цього інструментом;
- автоматично генерувати траєкторію інструмента для всіх ідентичних об'єктів у групі;
- динамічно моделювати та визначати траєкторію інструмента;
- відтворювати на екрані процес видалення матеріалу відповідно до ЧПУ-програми;



- генерувати траєкторію інструменту та пов'язані з ним таблиці індексів інструменту;

- визначати й автоматично обходити притискні пристосування.

**3.1.3. Модуль Pro/CASTING** - проектування ливарного оснащення. Використовується для задання геометрії виливок, ливарних форм, оцінки технологічності отриманих результатів. Pro/CASTING забезпечує:

- швидку розробку геометрії виливок на основі спроектованої деталі. Pro/CASTING генерує моделі виливок, посилаючись на конструкції деталі. Прямий зв'язок між конструкцією деталі та виливкою дозволяє вносити будь-які зміни в конструкцію, вільно переміщуючи по всіх етапах проектування через взаємно пов'язані зовнішні умови, включаючи блоки штампів, штампове та ливарне оснащення, готові виливки й відповідну документацію. Користувачі можуть моделювати потоки, літники та площини рознімання, додаючи ці специфічні об'єкти до ливарної зборки;
- визначення ливарних порожнин з використанням одиночних чи деталей груп деталей. Pro/CASTING дозволяє "розмножувати" деталі для зборки в єдиному ливарному блоці, надаючи користувачу можливість проектування складних виливків і прес-форм з однієї чи декількох порожнин;
- компенсацію усадки. Завдяки параметричній природі Pro/CASTING конструктори можуть компенсувати усадку виливки, застосовуючи коефіцієнт усадки для всього виробу, масштабуючи деталь уздовж осей координат чи призначаючи коефіцієнти усадки для окремих розмірів деталі;
- автоматичне визначення вимог до ливарних ухилів. Використовуючи опцію перевірки ухилу, можна визначити достатність ухилу для зазначеного напрямку при витягу деталі з форми і змінити його в разі потреби;
- створення будь-яких типів ухилів. Pro/CASTING включає унікальні об'єкти ливарних ухилів, за допомогою яких досягається велика гнучкість у виготовленні литих моделей. Для доробки конструкції деталей, що мають недостатній допуск на ухил, конструктори можуть змінити відповідні особливості ухилу чи визначити нові;
- генерацію піщаних стрижнів. Засоби створення компонентів дозволяють моделювати піщані форми у вигляді твердих тіл чи об'ємів, заснованих на геометрії деталі. Система використовує піщані стрижні для запобігання від заповнення обраних порожнин ливарної форми;
- визначення складних поверхонь рознімання. За допомогою Pro/CASTING для рознімання можна використовувати будь-яку поверхню деталі, а для складної геометрії - декілька поверхонь. Pro/CASTING також має засоби автоматичного визначення поверхонь рознімання;
- автоматичний поділ компонентів форми на окремі ливарні секції. Пі-





для визначення однієї чи більш поверхонь рознімання компоненти форми автоматично розділяються уздовж поверхні рознімання;

- перевірку на розкривання форми. Конструктори можуть моделювати й керувати послідовністю розкриття форм, визначаючи окремі етапи та переміщення для кожного компонента. Pro/CASTING перевіряє взаємоперетин деталей і генерує результати заповнення форми;
- аналіз товщини стінок. Засоби перевірки товщини в Pro/CASTING автоматично контролюють відповідність відлитих деталей визначеним користувачем межам мінімальної та максимальної товщини з метою виявлення місць можливого утворення розривів, раковин і тріщин.

**3.1.4. Модуль Pro/COMPOSITE** - проектування деталей з композитних матеріалів. Pro/COMPOSITE застосовується для автоматизації проектування, виробництва і документування панелей з багатошарових композитних матеріалів. Використовуючи Pro/COMPOSITE, проектувальники розробляють геометрію основних ліній, генерують послідовність і орієнтацію шарів. Грунтуючись на цій інформації технологи визначають допуски на розтягання та обрізку, а потім і геометрію прес-форми. Pro/COMPOSITE дозволяє:

- визначати геометрію лінії рознімання прес-форми і пошарових операцій;
- генерувати інформацію для інженерного аналізу;
- генерувати розгортку на площину окремих шарів;
- підготовлювати супутню заводську документацію;
- генерувати разом з Pro/MANUFACTURING ЧПУ-програми для деталей прес-форм.

**3.1.5. Модуль Pro/MOLDESIGN** - проектування прес-форм виробів із пластмас. Pro/MOLDESIGN забезпечує:

- задання топології внутрішніх порожнин прес-форми виходячи з геометрії розробленої деталі;
- проектування прес-форм з одиночними, множинними повторюваними і множинними неповторюваними порожнинами;
- компенсацію усадки внутрішніх порожнин прес-форми;
- визначення та моделювання відкриття прес-форми й послідовності процесу виштовхування з прес-форми з автоматичною перевіркою на коректність і зіткнення всіх її частин;
- доступ до даних прес-форми, включаючи, наприклад, повний обсяг, масу, поверхню відбитка;
- моделювання процесу заповнення прес-форми за допомогою інтегрованого алгоритму C-FLOW/EZ від AC Technology;
- інформацію про лінію рознімання, повітряні сифони, лінії холодного спаю, епюри швидкостей заповнення, швидкості плунжера тощо.

**3.1.6. Модуль Pro/CABLING** - проектування тривимірного розведення кабелів і джгутів. Pro/CABLING - додатковий, цілком асоціативний і пара-

метричний модуль, що базується на конструкторських операціях, Pro/ENGINEER. Він спрощує проектування тривимірних дротових і кабельних джгутів розведення в зборках Pro/ENGINEER. Разом з Pro/Harness-MFG, Pro/CABLING дозволяє створити монтажний вузол від розробки до виготовлення. За допомогою Pro/CABLING проектувальник може здійснювати розведення проводів безпосередньо в тривимірній збірці. Розведення виконується паралельно з проектуванням електричних і механічних деталей пристрою. Ці можливості дозволяють оптимальним образом спроектувати як механічну, так і електричну частини агрегату.

Гарантується автоматичне коректування розведення дротів у випадку зміни конструкції, що істотно зменшує час і вартість циклу проектування, підвищує якість виробу.

Pro/CABLING забезпечує інженера інструментом типу «point and click», що допомагає розводити дроти, кабелі та джгути безпосередньо в тривимірній збірці. Ця технологія більш швидка та зручна, ніж традиційний метод, що змушує проектувальника задавати траєкторії в абсолютних просторових координатах. Повна асоціативність між монтажним розведенням і вузлом гарантується тим, що траєкторія та довжина дротів автоматично коректується при зміні геометрії зборки. PRO/Harness-MFG використовує тривимірне розведення дротів, спроектоване в Pro/CABLING, щоб виконати креслення монтажно́ї шафи чи щита й видати інші технологічні дані.

Додатково Pro/CABLING дозволяє проектувальникам:

- поєднувати дроти в джгути та роз'єднувати їх у будь-якій місці;
- призначати будь-як компонент зборки під роз'єм та номери клем у роз'ємі для кожного проводу;
- задавати місце розташування кабельних джгутів і маркерів;
- змінювати взаємне положення кабелів і дротів у джгутах, використовуючи їхні поперечні перерізи;
- обмежувати довжини кабелів відповідно до заданої величини;
- автоматично складати кошторис за матеріалами й таблицями з'єднань, у тому числі довжин проводів, кабелів, джгутів;
- генерувати всі масово-інерційні характеристики, у тому числі загальну масу, центр ваги та момент інерції;
- виявляти й виправляти будь-які нестыковки між конструкцією й електропроводкою;
- виготовляти монтажні креслення та об'ємні зображення електропроводки;
- автоматично вибирати відповідні типи роз'ємів для проводки, виходячи з обумовлених користувачем критеріїв, таких як поперечний переріз проводів і номер за каталогом;
- додавати та зменшувати кількість проводів у джгутах.

Конструктор виконує розведення проводів, кабелів і джгутів безпосередньо на тривимірній збірці - від роз'єму до роз'єму, за поверхнями,

уздовж країв, через канали, отвори та точки чи за довільними траєкторіями. Можна використовувати розведення окремих сегментів з наступним їх з'єднанням. Pro/CABLING автоматично прокладає шлях кабелю з урахуванням допуску на мінімальний радіус повороту. Зміни, внесені в розведення, викликають автоматичне коректування шляху та довжини проводів.

Pro/CABLING автоматично розводить багатожильні кабелі по всьому шляху в залежності від типу кабелю (круглий чи плоский). Розведення можна легко змінити взаємним зсувом чи зміною розмірів кабелів.

Просторові моделі роз'ємів можуть бути взяті з бібліотеки MILL-SPEC. В число параметрів роз'ємів входить кількість клем, сигналів, заглушок, перемичок і заземлень. Pro/CABLING дозволяє підключати декілька дротів на одну клему, а також застосовувати клема на виході одного кабелю.

Проектувальник може легко перевірити, чи не заважають один одному конструкція й проводка, а також перевірити ступінь взаємного впливу, обчислюючи відстань між кабелями. Pro/CABLING визначає всі масово-інерційні характеристики як проводки, так і конструкції в цілому. Схема по електропроводці включає кожен тип дроту чи кабелю, джгута (з вказівкою загальної довжини дротів), а також усі роз'єми, зв'язки та маркери. Pro/CABLING також складає стандартну таблицю з'єднань, що визначає довжину кожного кабелю чи дроту, необхідних для виготовлення електропроводки. Pro/REPORT надає можливість виводити ці дані на дисплей монітора в довільних табличних форматах і автоматично оновлює їхній вміст відповідно до внесених в конструкцію змін. По кожному дроті на дисплей монітора можна вивести його адресацію (наприклад, назва роз'єму, назва заглушки, номер клема), довжину, призначення, колір і поперечний переріз.

**3.1.7. Модуль Pro/PIPING** - інструмент для генерації та прокладки трубопроводів у тривимірних зборках. Pro/PIPING - додатковий модуль, призначений для параметричного конструювання трубопроводів у середовищі Pro/ENGINEER. Використовуючи Pro/PIPING, конструктор може легко розробити тривимірну систему трубопроводів, що складається з труб великого діаметра з арматурою, гнутих трубопроводів і гнучких шлангів; прокладка труб проводиться паралельно з розробкою всієї конструкції виробу. Повна сумісність Pro/PIPING з іншими модулями PRO/Engineer означає, що дані по трубопроводах автоматично перераховуються при внесенні будь-яких змін у конструкцію виробу. Комплектуючі елементи, такі як хомути чи кріплення, можуть також формуватися з урахуванням типу трубопроводів. Таким чином, зміни, внесені в систему трубопроводів (такі як діаметр труби чи мінімальний радіус вигину), автоматично вплинуть на усі відповідні частини, вузли та навіть кріпильні скоби. Крім того, щоб істотно скоротити час і вартість розробки за рахунок усунення необхідності створення повноцінних макетів, програма /Piping складає кошторису за матеріалами для своєчасного коректування необхідного запасу труб, арматури й устаткування.

Pro/PIPING надає конструктору програмні засоби прокладки трубо-

проводів і компонування устаткування прямо на тривимірних моделях з використанням методу “point and click”. Цей інтерфейс - більш наочний і ефективний у порівнянні з традиційними методами визначення абсолютних просторових координат з наступним обчисленням шляху прокладання трубопроводів. Повна сумісність з PRO/Engineer забезпечує автоматичне відновлення даних при внесенні будь-яких інших змін у виріб.

Pro/PIPING дозволяє здійснювати прокладку трубопроводів уздовж чи скраю від одного компонента до іншого. Можна робити прокладку вздовж поверхонь, навколо перешкод і крізь отвори. Періодичні перевірки таких параметрів конструкції, як загальна довжина, радіус вигину та кут вигину, забезпечують обґрунтованість конструкції на всіх етапах проектування. Усі зміни, внесені у виріб, автоматично відбиваються на конфігурації й довжині трубопроводів. Pro/PIPING дає можливість також розробляти окремі частини трубопроводів, згодом з'єднуючи їх у закінчене ціле. Можна легко виявити перетинання між трубопроводом і механічною конструкцією. В силу повної асоціативності Pro/PIPING будь-які зміни вносяться легко й швидко, а всі дані автоматично обновляються.

Pro/PIPING — інструментарій для створення:

- трубопроводів, що складаються з труб і арматури. Лінії можуть складатися з проводки порожнього чи суцільного перетину й різних типів стиків, таких як поворот, з'єднання у вус, патрубок;
- сортаменту: стандартні типорозміри можуть бути визначені й поміщені в бібліотеку з параметрами (наприклад, мідні трубки з арматурою діаметром 1/2", 3/4", 1") для полегшення вибору й забезпечення сумісності. До числа параметрів можуть входити: максимальна довжина, мінімальна відстань на вигинах, мінімальна довжина прямої ділянки, радіус згину, кут повороту;
- устаткування й арматури: Допоміжні елементи системи трубопроводів складають устаткування й арматуру. У середовищі Pro/PIPING арматура представлена вентилями, заглушками, перехідними патрубками, штуцерами та термокомпресорами. Використовуються наступні типи з'єднань: зварені з'єднання, фланці, хомути, фасонні вироби. На додаток до цього детальна розробка трубопроводів може здійснюватися з застосуванням додаткової арматури: кришок, клапанів і перехідників;
- інформації для трубозгинання: Для гнутих трубопроводів Pro/PIPING представляє інформацію для процесу вигину, у тому числі таблицю допустимих кутів вигину й крутіння, довжин між сусідніми вигинами;
- інженерної інформації: Pro/PIPING видає специфічну трубопровідну інформацію, наприклад довжини попередньої обрізки для поворотників. Критична інженерна інформація, така, наприклад, як перетини, масово-інерційні характеристики, кінцево-елементні сітки, та-



- кож забезпечує аналіз навантажень і внутрішнього тиску;
- кошторису матеріалів: Для кожної системи труб автоматично створюється кошторис матеріалів, що включає труби (з параметрами труб і довжиною), арматуру й обробку закінчення труби;
- форм труб: трубопроводи, створені в Pro/PIPING, можуть бути прямими чи гнучкими, а нитки трубопроводів — містити відводи чи перехідники, гнучкі трубопроводи можуть проектуватися з декількох рукавів;
- креслень: креслення можуть бути зроблені для заданих труб разом з іншою системою труб, без включення в нього агрегату, що об'єднується.
- урізань: урізання - з'єднання між кінцем однієї труби та серединою іншої. Pro/PIPING дозволяє врізатися в існуючу трубу, формуючи нові відгалуження.

**3.1.8. Модуль Pro/MANUFACTURING.** Основними виробничими труднощами на вітчизняних машинобудівних підприємствах є об'єднання взаємозалежних стадій підготовки проектної документації, її технологічна проробка та випуск готової продукції. Pro/MANUFACTURING дозволяє уникнути цих проблем і оптимізувати наскрізний виробничий процес. Параметрично визначаючи траєкторії проходження інструменту при верстатній обробці деталі, створеної в Pro/ENGINEER, цей продукт сприяє зниженню вартості та скорочує час виробництва виробу.

Для проведення операцій механообробки, необхідних при виготовленні деталі, Pro/MANUFACTURING застосовує елементно-орієнтований підхід. При створенні кожного нового елемента Pro/MANUFACTURING задає траєкторії проходження інструмента й моделює верстатну обробку заготовки. Дана інформація потім обробляється постпроцесором для генерації керуючих програм для верстатів із ЧПУ. Параметричний зв'язок Pro/MANUFACTURING із проєктованою моделлю в Pro/ENGINEER дозволяє автоматично змінювати траєкторію проходження інструменту й саму керуючу програму, навіть якщо коректування в конструкцію деталі вносяться на завершальній стадії проєктування. Це зводить до мінімуму втрати робочого часу та знижує собівартість виробництва.

Можливості, що представляються Pro/MANUFACTURING:

- автоматична генерація оптимальних траєкторій інструмента для таких операцій як фрезерування, загострення, свердління та електроерозійна обробка;
- створення бібліотеки інструментів, необхідних конкретному користувачу для конкретної операції механообробки ;
- підтримка інформаційної бази даних виробничого процесу, що докладно описує послідовність операцій і технологічні параметри для кожної операції над кожною деталлю;
- генерація всієї технологічної інформації для деталей і зборок;



- створення бібліотеки пристроїв для затискання заготовки в верстаті для імітації реального процесу механообробки з обходом перешкод;
- обчислення траєкторії руху інструменту на підставі прямих посилок на геометрію моделі, що проектується. Рух інструменту автоматично генерується для всіх типів обробки, що підтримуються даним модулем. При моделюванні руху інструменту технолог спостерігає проходження заготовки в будь-який момент верстатної обробки.

Модуль, що представляється, обчислює траєкторії руху інструменту для наступних типів верстатної обробки :

- **фрезерування:**
  - автоматичне торцьове фрезерування;
- **перебування** і вибірка матеріалу, що залишився після попередньої операції;
  - чорнове та чистове фрезерування;
  - 3-, 4-, і 5-ти осьова обробка поверхні;
  - фрезерування контуру поверхні;
  - інтерактивний контроль інструменту з поділяючими, ведучими і контрольними поверхнями;
- **токарної обробки:**
  - чорнова та чистова токарна обробка зовнішнього й внутрішнього контуру;
  - чорнова й чистова токарна обробка торців;
  - нарізка різьб і канавок;
- **свердління:**
  - цикл свердління;
  - цикл розточення;
  - цикл нарізання внутрішнього різьби;
  - цикл глибокого свердління з заданням глибини зворотно-поступальних занурень;
  - свердління по шаблонах;
- **електроерозійної обробки:**
  - контроль 2 і 4 осьової обробки;
  - зміна параметрів руху інструменту в будь-який момент;
  - визначення умов обробки в кутах.

## 4. СИСТЕМА ТВЕРДОТІЛЬНОГО ПАРАМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ СЕРЕДНЬОГО КЛАСУ *SOLID EDGE*

**Solid Edge** - сучасна система твердотільного параметричного моделювання середнього класу, створена компанією **Unigraphics Solutions Inc.** Система була розроблена з метою швидшої та дешевшої розробки виробів з одночасним підвищенням якості, об'єктивної оцінки часу виходу виробу на ринок і витрати на його розробку. Solid Edge надає більш широкі можливості в порівнянні з традиційними системами CAD подібного класу. Володіючи "інтелектуальністю", Solid Edge пропонує засоби для автоматичного розпізнання та втілення задуму конструктора, які випереджають його кроки в процесі побудови моделі. Ці "інтелектуальні" засоби конструювання дозволяють кардинально скоротити число кроків і операцій, а в кінцевому рахунку і час розробки виробу в цілому [15].

Solid Edge надає користувачу високоефективні можливості для тривимірного моделювання та конструювання складальних вузлів. Крім того, Solid Edge може працювати на персональних комп'ютерах середнього класу, що дозволяє заощаджувати кошти на устаткуванні. Нарешті, оскільки Solid Edge простий в освоєнні і використанні і, крім того, має вмонтовані засоби для навчання, користувач може одержати значну економію за рахунок самонавчання. Створений спеціально для Windows, Solid Edge може бути швидше інтегрований в існуюче середовище автоматизованої розробки виробів машинобудування, що виключає зайві витрати, що неминучі за підтримкою і супроводом різномірних апаратних платформ і операційних систем, на яких працюють офісні та конструкторські додатки. Solid Edge надає новітні засоби для здійснення зв'язку технічних і ділових додатків, що дозволяє уникнути проблем і додаткових витрат при спільному використанні різноманітних програмних систем. Система надає можливість уникнути перекодування даних із різноманітних систем CAD, що гарантує достовірність і цілісність інформації, більш того перекодування ніколи не покращує геометричну модель, не говорячи вже про те, що для цього потрібно спеціальне програмне забезпечення.

### 4.1. Загальна характеристика системи Solid Edge

**4.1.1. Автоматичний вибір елементів** здійснюється в засобі Quick-Pick, який використовується в **Solid Edge**. Це істотно спрощує процес вибору геометричних елементів, необхідних для операцій побудови моделі. Ребра, поверхні, інші елементи геометричної моделі автоматично підсвічуються, коли користувач переміщує курсор миші по екрані. Навіть якщо користувач працює в тривимірному просторі, він одержує прямий доступ до всіх елементів моделі, і йому не доводиться гаяти час на виконання опе-



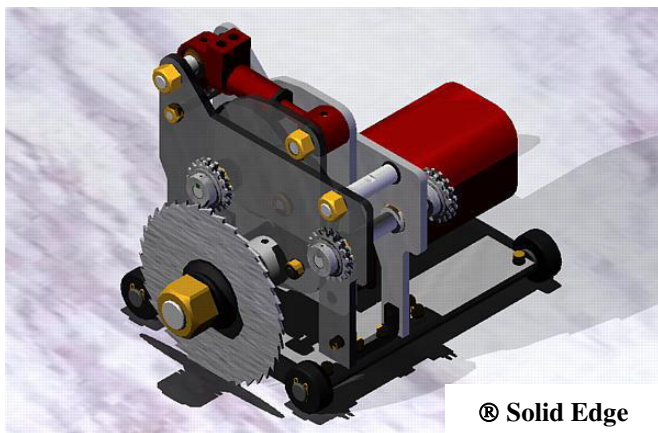


Рис.4.1. Приклад автоматичного вибору елементів в системі Solid Edge

**4.1.2. Засіб "Інтелектуальний" ескіз** дозволяє в процесі створення профілю при переміщенні курсору миші автоматично підсвічувати ключові геометричні точки (кінець чи середина відрізка, точка торкання чи сполучення). IntelliSketch також визначає й графічно позначає зв'язки між елементами, такі, як умови горизонтальності, вертикальності, рівнобіжності (рис.4.2).

**4.1.3. Точна геометрія "від руки"** Наданий Solid Edge новітній засіб FreeSketch (точна геометрія "від руки") дозволяє перетворити ескіз, зроблений від руки шляхом вільного переміщення курсору миші, у точні геометричні елементи. Наприклад, якщо користувач робить мишею кругові рухи, FreeSketch автоматично розпізнає "переміщення по дузі" і створює точну геометричну дугу. Щоб допомогти конструктору запам'ятати багатокроковий процес побудови моделі, Solid Edge використовує піктографічний зворотній зв'язок, що структурно відбиває виконану послідовність операцій. Завдяки засобові SmartStep будується послідовність піктограм, кожна з яких відбиває конкретний крок у процесі створення моделі. Обравши потрібну піктограму, користувач миттєво одержує доступ до відповідного кроку й може легко внести необхідні зміни.

**4.1.4. Точний ввід.** Засіб PinPoint (Точний ввід) забезпечує просте і точне введення даних при створенні, переміщенні або зміні геометричних елементів. PinPoint усуває характерну для традиційних CAD- систем плутанину, пов'язану з використанням декількох систем координат і допоміжних побудов (рис.4.3). Замість обтяжного введення даних через командний рядок, PinPoint пропонує графічний зворотній зв'язок, завдяки якому про-

цес розміщення геометричних елементів стає більш ефективним. При цьому використовуються точні значення відстаней і кутів щодо будь-якої ключової точки або уздовж будь-якої осі.

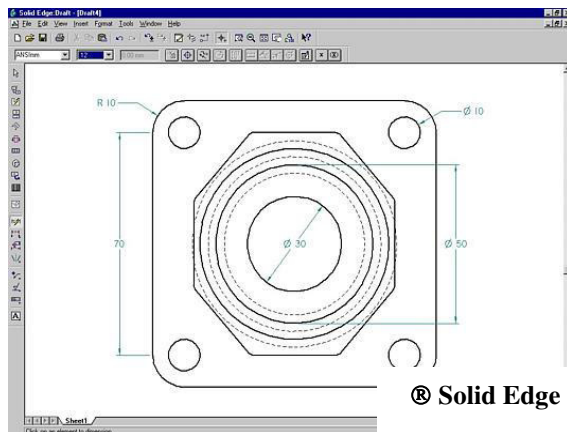


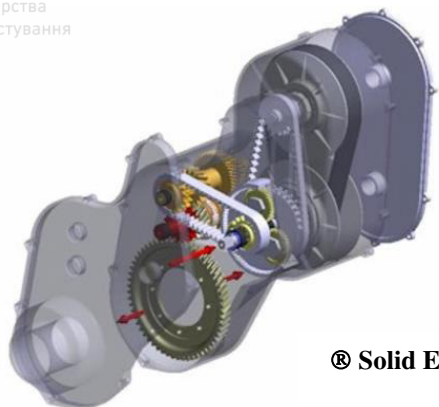
Рис.4.2. Приклад використання засобу "Інтелектуальний" в системі Solid Edge



Рис.4.3. Приклад точного введення параметрів об'єкту в засобі PinPoint

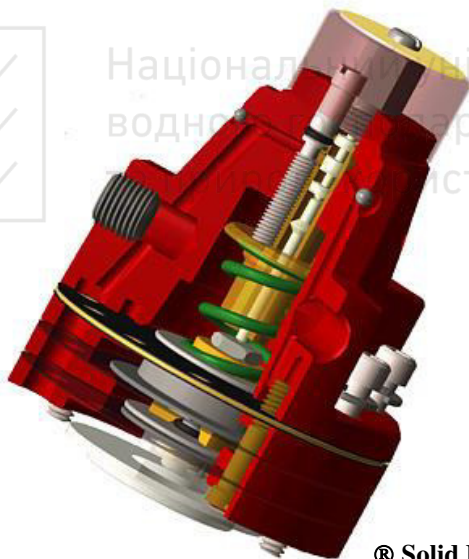
**4.1.5. Скорочення циклу розробки.** Технологія, запропонована Solid Edge, дозволяє скоротити тривалість і кількість операцій введення даних у процесі моделювання конструкції, а відповідно скоротити і цикл розробки (рис.4.4). Ефективне моделювання складальних вузлів за допомогою Solid Edge допомагає скоротити витрати чи взагалі уникнути виготовлення фізичних прототипів виробів. Крім того, чітка організація контролю процесу створення моделі дозволяє мінімізувати час, необхідний для внесення змін у конструкцію виробу. Завдяки повній асоціативності користувач витрачає набагато менше часу на перероблення й відслідковування актуальності версії моделей і креслень протягом усього робочого циклу.

**4.1.6. Поліпшення якості** Solid Edge надає можливість ефективно розробляти "дійсні" складальні вузли повні й точні геометричні прототипи, що допоможуть виявити й усунути всі проблеми, характерні для складань (рис.4.5). Використовуючи нові засоби швидкого створення складальних вузлів і моделювання окремих деталей, користувач може оцінити більше варіантів конструкції за менший час, оптимізувати її характеристики, підвищити надійність і технологічність виготовлення. У результаті скорочуються витрати на виготовлення і складання виробу, а також його обслуговування.



® Solid Edge

Рис.4.4. Приклад процесу моделювання конструкції приводу в Solid Edge



® Solid Edge

Рис.4.5. Приклад створення складальних вузлів і моделювання окремих деталей в Solid Edge

**4.1.7. Повна автоматизація.** Solid Edge сама відкрита й готова до співпраці CAD-система, коли-небудь, розроблена для виконання конструкторських робіт. Solid Edge дозволяє легко об'єднати CAD- систему і дані проекту з іншими засобами автоматизації. Більш того, можливість об'єд-



нання не обмежується тільки текстовими процесорами, електронними таблицями й іншими системами автоматизації офісної діяльності. Користувач може використовувати дані, підготовлені за допомогою інших систем CAD або додатків для інженерного аналізу і підготовки виробництва.

Solid Edge є першою CAD- системою, що дозволяє ефективно використовувати всі переваги технологій Drag-and-Drop і Plug-and-Play для прямого об'єднання даних, підготовлених у різноманітних додатках.

**4.1.8. Повна інтеграція** Ключовою особливістю Solid Edge, що забезпечує взаємодію з іншими системами, є використання розробленого спеціально для Windows нового стандарту OLE для зв'язку об'єктів, створених за допомогою додатків для конструювання і моделювання. Цей стандарт дозволяє працювати з тривимірними об'єктами, використовуючи ефективні засоби Windows. Ця принципово нова можливість для ефективного спільного використання додатків може кардинально змінити стратегію роботи над проектом. Тепер користувач може працювати над документом, використовуючи любий текстовий процесор, а потім помістити текст прямо в поле креслення, або ж помістити геометричну модель, створену в Solid Edge, безпосередньо в текстовий документ для створення якісної ілюстрації. Такий засіб інтеграції, закладений у Solid Edge, можливий для всіх додатків, що підтримують стандарт OLE. Іншими словами, користувач вперше одержує можливість ідеально об'єднати CAD- системи і додатки для автоматизації офісної діяльності в єдине рішення, що цілком відповідає вимогам підприємства. Можливість роботи з моделями, створеними в AutoCAD і йому подібних, є вмонтованою, так що користувач може працювати з такими даними нарівні з “рідними”, створеними безпосередньо в Solid Edge, що дозволяє уникнути проблем, що звичайно виникають при перекодуванні даних за допомогою спеціальних трансляторів. Використовуючи всі переваги технології OLE, можна виконати будь-які налаштування або створити власні додатки, використовуючи стандартні й прості у використанні засоби, наприклад, Visual Basic. Розроблений спеціально для спільного використання із системами CAD/CAE/CAM, що найбільш широко застосовуються в даний час, Solid Edge призначений саме для того, щоб зберегти вже зроблені вкладення в програмні засоби.

Тому що Solid Edge використовує засоби твердотілого моделювання Parasolid, що є світовими стандартами “де-факто”, то користувач може безпосередньо і без втрати даних використовувати тривимірні геометричні моделі, створені за допомогою сумісного програмного забезпечення (наприклад, Unigraphics).

## 4.2. Модулі системи Solid Edge

**4.2.1. Модуль Solid Edge Part + Solid Edge Sheet Metal** це модуль, призначений для твердотілого параметричного моделювання та проекту-

Національний університет  
вання виробів з листового матеріалу.

Орієнтація Solid Edge на середовище Windows дозволяє мінімізувати кількість операцій, необхідних для введення даних. Це не тільки прискорює, але і спрощує моделювання. Якщо ж врахувати, що система призначена спеціально для користувачів, зайнятих у сфері машинобудування, то, на думку аналітиків, робота з системою стає більш природньою і відповідає звичному ходу думок конструктора-проектувальника (рис.4.6).

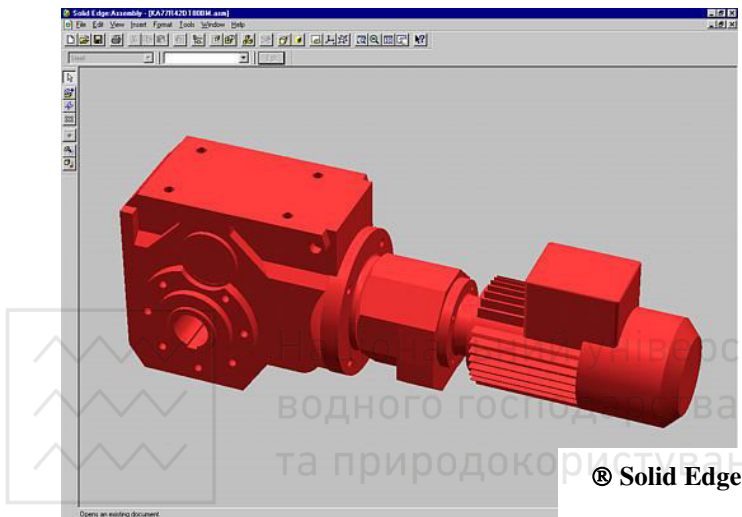


Рис.4.6. Приклад твердотільного параметричного моделювання та проектування виробів з листового матеріалу. в модулі Solid Edge Part + Solid Edge Sheet Metal Solid Edge

Solid Edge реалізує новий стандарт ефективності конструювання виробів машинобудування за допомогою найбільше потужних і в той же час простих у використанні засобів параметричного твердотільного моделювання. Розроблений із використанням передової технології тривимірного моделювання, Solid Edge забезпечує дійсний прорив в області інтерактивного конструювання виробів машинобудування й дозволяє значно скоротити час розробки виробу, одночасно поліпшуючи його споживчі якості. Solid Edge простий в освоєнні і використанні, завдяки чому більше часу приділяється конструюванню і менше - керуванню системою. Solid Edge розроблений спеціально для Microsoft Windows і пропонує ефективне об'єктно-орієнтоване параметричне моделювання в середовищі Windows, усуває надмірність команд і громіздкість процедури створення моделі, характерні для багатьох існуючих CAD- систем.

На відміну від універсальних систем геометричного моделювання Solid Edge розроблений спеціально для конструювання виробів машинобудуван-

ня й дозволяє створювати моделі деталей на основі технології використання “природних” підкоманд типу додавання або видалення матеріалу в послідовності, властивій складу мислення конструкторів і інженерів. Робоче середовище Solid Edge забезпечує користувачу прямий доступ до широкого набору команд базових операцій, включаючи вибірку кишень, видавлювання, створення отворів, ребер жорсткості, тонкостінних тіл, закруглень або фасок, додавання ухилу. Для виконання більшості команд потрібно вибрати робочу площину, накреслити в ній за допомогою спеціальних високоєфективних засобів профіль, що визначає результат операції, а потім зазначити напрямки і межі для видалення або додавання матеріалу.

Solid Edge, крім файлів формату Parasolid, може відчиняти і файли Unigraphics. Тобто, можна говорити про технологічний ланцюжок, де в якості системи верхнього рівня використовується Unigraphics, а середнього - Solid Edge. Можливості моделювання Solid Edge реалізовані на основі технології твердотільного моделювання Parasolid, що використовується усе зростаючим числом програмних систем для конструювання, інженерного аналізу, підготовки виробництва. Parasolid забезпечує швидкість і надійність виконання операцій, дозволяє підвищити продуктивність при створенні тривимірних моделей, а також пропонує єдиний механізм обміну геометричними даними для всіх додатків, створених на його основі.

**4.2.2. Модуль Solid Edge Draft (Креслення).** Solid Edge надає повний набір засобів для виготовлення креслень прямо на основі моделі деталі чи складального вузла (рис.4.7). Використовуючи ці засоби, користувач може створювати креслення, асоціативно пов'язані з тривимірною моделлю. Всі зміни, внесені в геометричну модель у процесі роботи над проектом автоматично відбиваються в кресленні. І навпаки, користувач може змінити форму тривимірної геометричної моделі, керуючи розмірами на її плоскому кресленні. Такий динамічний двосторонній зв'язок модель-креслення дозволяє скоротити час, який при використанні традиційних систем витрачається на внесення поправок у креслення у випадку змін у проекті. Тобто, користувач може бути упевнений, що креслення завжди відбивають поточний стан геометричної моделі деталі чи складального вузла.

Засоби Solid Edge для автоматизації оформлення креслення вирішують усі специфічні задачі, характерні для цього процесу, включаючи композицію та створення видів, нанесення розмірів, розміщення анотацій, а також відстежування актуальності версії проекту. Solid Edge пропонує автоматизовану стандартну процедуру, що спрощує процес оформлення креслярського листа.

Solid Edge включає засоби автоматизованого нанесення розмірів і пояснень, які дозволяють швидко додати елементи, необхідні для оформлення креслення. Користувач може імпортувати розміри прямо з моделі, а потім задати додаткові розміри у відповідності зі стандартом, прийнятим на підприємстві.





Рис.4.7. Приклад виготовлення креслень на основі моделі деталі чи складального вузла в модулі Solid Edge Draft

Solid Edge дозволяє швидко й легко задавати розміри з указівкою допусків, позначення шорсткості й чистоти обробки поверхні. Для створення текстових анотацій користувач може використовувати вмонтований редактор або будь-який текстовий процесор, а потім розмістити набраний і відформатований текст на кресленні, використовуючи можливості Windows.

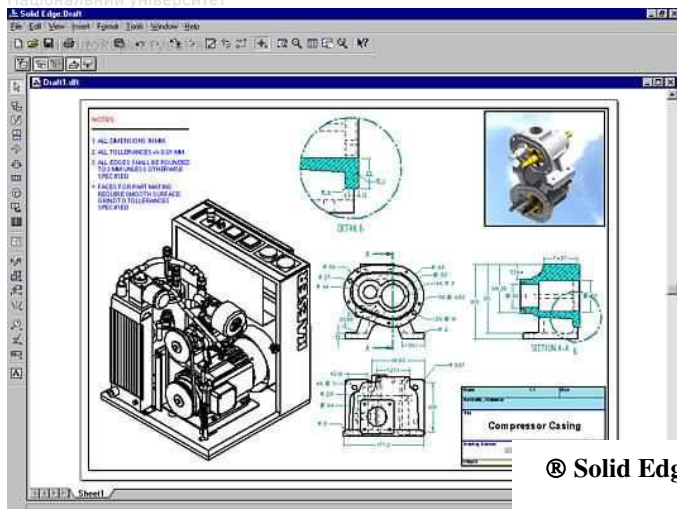
Solid Edge надзвичайно спрощує процес створення креслення складального вузла завдяки засобам для побудови виносних елементів і складних перерізів. Користувач може також автоматично створити специфікацію і розмістити покажчики компонент складального вузла.

Solid Edge дозволяє скоротити час, який іде на відстежування версії креслень моделі, що часто змінюється. Встановивши динамічний зв'язок між моделлю і кресленням, користувач завжди упевнений у тому, що зміни, внесені їм у геометричну модель, автоматично відіб'ються й у кресленні (рис.4.8).

Обираючи необхідний креслярський стандарт, Solid Edge автоматично розміщає розміри, анотації й інші креслярські позначення відповідно до цього стандарту. Solid Edge надає можливість використання основних міжнародних стандартів, включаючи ЄСКД.

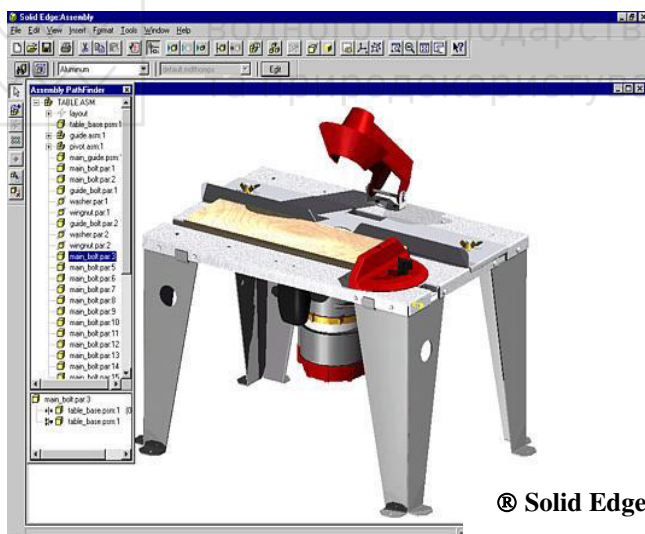
**4.2.3. Модуль Solid Edge Assembly (Складальне креслення).** Система Solid Edge ідеально підходить для моделювання складальних вузлів, пропонуючи ефективні засоби для рішення цих задач. Ці спеціалізовані засоби дозволяють враховувати взаємозв'язки між деталями, відслідковувати структуру складального креслення й організувати взаємодію розроблювачів складального вузла (рис.4.9).





® Solid Edge

Рис.4.8. Приклад встановлення динамічного зв'язку між моделлю і кресленням в Solid Edge



® Solid Edge

Рис.4.9. Процес моделювання складальних вузлів в модулі Solid Edge Assembly

Solid Edge пропонує робоче середовище, спеціально орієнтоване на конструювання складань, і надає розроблені засоби, що дозволяють створювати складальний вузол із використанням моделей деталей, створених в

інших CAD- системах (наприклад, Unigraphics, AutoCAD, Компас). У процесі конструювання складального вузла користувач може легко розміщати й орієнтувати компоненти, визначати взаємозв'язки між окремими деталями. Засоби для аналізу взаємного розташування деталей, надані системою, дозволяють швидко виявляти проблеми стикування деталей.

Solid Edge допомагає відслідковувати великий об'єм даних, пов'язаних із проектом складального вузла, і, відповідно, допомагає управляти процесом розробки. Засіб PathFinder (навігатор) відображає дерево структури моделі складального креслення, за допомогою якого користувачу надається можливість вибирати й активізувати для роботи потрібні деталі. Завдяки PathFinder можна швидко орієнтуватися в складних вузлах і легко вибирати деталі. Робоче середовище системи спеціально призначене для моделювання складальних вузлів, що дозволяє підвищити ефективність робіт, особливо при розробці великих складальних конструкцій: агрегатів, відсіків і цілих виробів.

У Solid Edge Assembly крім класичного методу створення складань “нагору”, передбачений метод “зверху вниз”, що дозволяє проектувати складальні вузли і створювати нові деталі безпосередньо в середовищі складального креслення, використовуючи частини вже створених деталей і вузлів (рис.4.10).

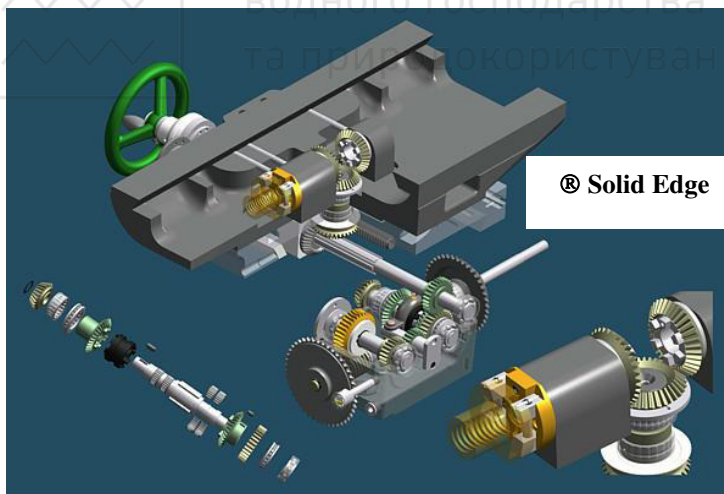


Рис.4.10. Процес проектування складальних вузлів і створення нових деталей методом “зверху вниз” в модулі Solid Edge Assembly

Solid Edge пропонує ефективні засоби для керування даними, за допомогою яких забезпечується узгоджена колективна робота над проектом складального вузла. Файли деталей і складань крім даних про геометричне



Національний університет

уявлення містять також і спеціальний блок інформації (стислий опис, стан проекту, номер версії тощо), утримання якого можна налаштовувати відповідно до вимог підприємства. Користувач може здійснювати пошук потрібної геометричної моделі, задаючи критерій пошуку, чи використовувати іншу інформацію для керування й координації роботи колективу над проектом. Для підвищення ефективності робіт Solid Edge надає засіб для автоматичної пересилки файлів моделі по електронній пошті між членами робочої групи.



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування



## 5. **SOLIDWORKS** - СИСТЕМА ПАРАМЕТРИЧНОГО ТВЕРДОТІЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Система твердотільного параметричного середнього класу моделювання **SolidWorks** розроблена американською компанією **SolidWorks Corporation** базується на параметричному геометричному ядрі **ParaSolid**, створена спеціально для використання на персональних комп'ютерах під управлінням операційних систем **Windows 95** і **Windows NT** [9, 10].

SolidWorks надає конструктору можливість використовувати на своєму робочому місці останні досягнення CAD/CAM-технологій для розробки складних деталей і зборок виробів машинобудування. При цьому проектування за допомогою SolidWorks є для конструктора простим і зручним. Відкрита архітектура системи дозволяє легко інтегрувати її з головними графічними, розрахунковими та технологічними системами.

SolidWorks відноситься до нового покоління вискоєфективних систем параметричного твердотільного конструювання й призначений для самого широкого кола користувачів інженерів, спроможний за своїми можливостями конкурувати з дорогими рішеннями для графічних станцій. Його використання разом з креслярсько-графічною системою КОМПАС 5 дозволить значно скоротити час розробки виробів, підвищити їх якість і збільшити конкурентоспроможність виробу та підприємства в цілому.

### 5.1. Користувацький інтерфейс

Інтерфейс системи відрізняється максимальною зручністю та доступністю. Відслідкування процесу створення моделі спрощується за допомогою спеціального дерева побудов (дерева зборки), яке відображає повну структуру моделі.

SolidWorks максимально використовує всі переваги операційних систем Windows 95 і Windows NT. В ній повністю підтримуються такі загальноприйнятні в Windows прийоми роботи, як багатовіконність і можливість одночасної обробки декількох деталей або зборок, налаштування користувачем екрану системи, меню та панелей інструментів, використання графічного буферу обміну, технології OLE для обміну об'єктами з іншими додатками, гнучку систему допомоги, засоби мережної підтримки (режим клієнт/сервер). Високорівневий сервіс системи включає широкі можливості візуалізації отриманої моделі, запис і послідовне налаштування макрокоманд на мові SolidBasic і багато чого іншого. Використання OpenGL дозволяє без встановлення додаткових графічних плат динамічно повертати деталь або збірку в режимі реального часу з отриманням високоякісного тонованого зображення.



## 5.2. Створення ескізу

Процес створення моделі в SolidWorks починається з побудови опорного тіла та наступного додавання чи вирізання матеріалу. Для побудови тіла першочергово будується ескіз конструктивного елементу на площині, який згодом можна буде перетворити тим чи іншим способом у тверде тіло. SolidWorks надає користувачу повний набір функцій геометричних побудов і операцій редагування. Основна вимога, що висувається системою до ескіза при роботі з твердими тілами - це замкнутість і відсутність самоперерізів в контурі.

При створенні контуру немає необхідності точно витримувати необхідні розміри, головним на цьому етапі є задання положення його елементів. Згодом, завдяки тому, що створюваний ескіз є повністю параметризованим, можна встановити для кожного елементу необхідний розмір. Крім того, для елементів, які входять у контур, можуть бути задані обмеження на розміщення і зв'язок з іншими елементами.

SolidWorks вміщує високоефективні засоби твердотілого моделювання, які ґрунтуються на поступовому приєднуванні чи вирізанні базових конструктивних тіл. Ескіз для одержання базового тіла може бути побудований на довільній робочій площині.

Типові інструменти для одержання базових тіл дозволяють виконати:

- видавлювання заданого контура з можливістю вказання кута нахилу твірної;
- обертання контуру навколо осі;
- створення твердого тіла, обмеженого поверхнею переходу між заданими контурами;
- видавлювання контуру вздовж заданої кривої;
- побудова фасок і заокруглень різноманітного вигляду;
- побудова ухилів;
- створення різноманітних типів отворів;
- отримання розгортки тіл рівномірної товщини.

Основні методи створення твердого тіла поєднують в собі також можливість комбінації всіх перерахованих способів як при додаванні матеріалу, так і при його знятті.

Конструктор може створювати складні твердотілі моделі, що складаються з сотень конструктивних елементів. При необхідності під час роботи можливе введення допоміжних площин і осей для використання в подальших побудовах (рис.5.1).

Параметри всіх створених конструктивних елементів доступні для зміни, так що в будь-який момент роботи можна змінити довільний параметр ескізу чи базового тіла та виконати потім повну перебудову моделі.

Крім створення твердих тіл, у SolidWorks існує можливість побудови різноманітних поверхонь, які можуть бути використані як для допоміжних

побудов, так і самостійно. Поверхні можуть бути імпортовані з будь-якої зовнішньої системи або побудовані тими ж способами, що і тверді тіла (видавлювання, обертання, перехід між контурами тощо). Допускається отримання злипку будь-якої з поверхонь вже побудованого твердого тіла.

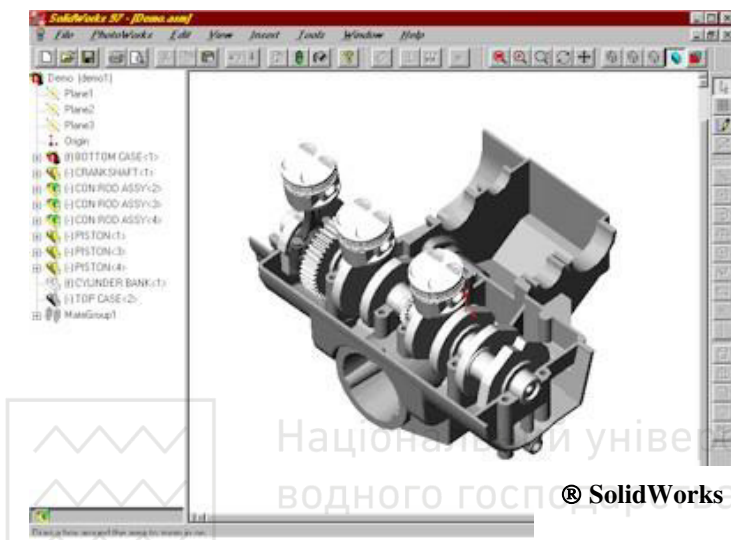


Рис.5.1. Створення твердотільної параметричної моделі в SolidWorks

Режими візуалізації отриманої моделі дозволяють проглядати її каркасне чи реалістичне зображення. Для підвищення якості тонованих зображень можуть бути змінені фізичні характеристики поверхні деталі (текстури) і призначені додаткові джерела світла.

### 5.3. Бібліотеки стандартних елементів

SolidWorks надає можливості створення бібліотек стандартних твердотільних моделей. При цьому необхідно створювати управляючу таблицю з параметрами побудованої моделі. Рядки таблиці вміщують набори параметрів для різноманітних типорозмірів.

Для отримання конкретної деталі необхідного типорозміру достатньо буде вибрати необхідне значення зі списку.

### 5.4. Створення складальних креслень

Складальне креслення - це взаємозв'язаний набір деталей одного виробу чи його складальної частини. Унікальні засоби SolidWorks дозволяють об'єднувати в одній збірці сотні різнотипних деталей і підзборок і будувати

необхідні збірні одиниці, не виходячи в режим створення деталей. У будь-який момент структура зборки доступна для обробки та зміни, при цьому безпосередньо в режимі сбірної одиниці можуть бути змінені будь-які параметри окремих деталей (рис.5.2).

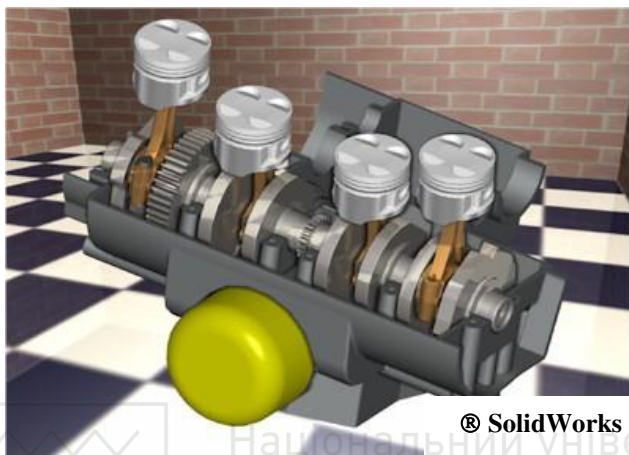


Рис.5.2. Створення зборок в SolidWorks

Взаємне розташування деталей зборки залежить від різноманітних обмежень на їхнє положення в просторі. Так, наприклад, можуть бути задані зв'язки між конструктивними осями, з'єднання або вирівнювання деталей в різноманітних площинах вказаних деталей. У подальшому, змінюючи положення однієї з них, можна відслідковувати поведінку решти деталей. За рахунок цього може бути відтворений закон прямування вузлів зборки.

Кожний з елементів зборки має свої матеріальні характеристики, тому існує можливість контролю взаємоперехрещення деталей, що входять у збірку. Крім того, можна управляти відображенням деталей, що входять в збірку, тимчасово роблячи їх невидимими та збільшуючи наглядність отриманого вузла. Апарат зборки дозволяє організувати добру взаємодію конструкторів при спільній розробці виробів, аналізувати конструкцію й оперативно приймати міри для забезпечення стикування вузлів.

## 5.5. Підготування презентаційних матеріалів по виробу

Після розробки моделі майбутнього виробу, перевірки його на міцність і проведення кінематичного аналізу механізму можна приступати до виготовлення дослідного зразка. Паралельно з початком роботи технологів може приступати до роботи відділ маркетингу і збуту, щоб ще до появи першого досвідченого зразка підготувати комплект рекламних матеріалів, що



включають зображення виробу, спроможні залучити погляд потенційних покупців. У цій роботі незамінним виявиться PhotoWorks - система створення фотореалістичних зображень на основі твердотільних моделей, розроблених у SolidWorks (рис.5.3).

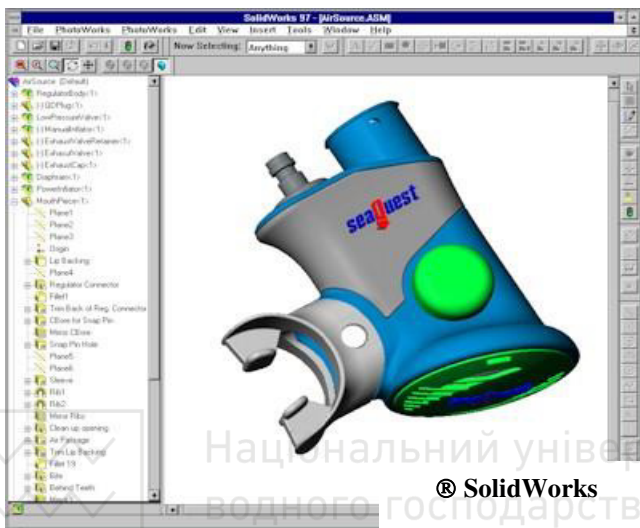


Рис.5.3. Підготування презентаційних матеріалів по виробу в SolidWorks

PhotoWorks дозволяє нанести на поверхню змодельованих деталей і вузлів різноманітні тексти, а також вибрати фон для розміщення моделі. Дані про тексти і фонові зображення вибирають із готової стандартної бібліотеки (в ній присутні різноманітні сорти каменю, конструкційні матеріали, дерево тощо). При необхідності бібліотека може бути поповнена користувачем самостійно. На основі інформації про розставлені джерела світла генеруються тіні і півтіні, що надають надзвичайну достовірність комп'ютерному зображенню ще не існуючої реальної конструкції.

## 5.6. Генерація креслень

Після створення твердотільної моделі існує можливість автоматичного одержання робочих креслень деталі чи зборки з зображеннями основних видів, проекцій, проєктування основних розмірів і позначень.

Для оформлення в повній відповідності з ЕСКД робочих креслень передбачається в креслярсько-графічний редактор КОМПАС 5. Процес побудови креслення спрощується за рахунок автоматичного формування складаних розрізів і виносів. У SolidWorks існують і вмонтовані засоби оформлення креслення з можливістю відслідковування асоціативного зв'язку між



моделлю і її кресленням. У цьому випадку зміна параметрів моделі призводить до автоматичної зміни креслення. Користувач при цьому може легко управляти відображенням окремих ребер деталі.

## 5.7. Інтерфейс з зовнішніми системами

Одержання твердотільної параметричної моделі - це один із етапів на шляху від прийняття рішення про проектування виробу до випуску готової продукції. Завдяки цілком відкритій архітектурі системи модель твердого тіла, створена в SolidWorks, може бути використана для розрахунків міцнісних характеристик методом кінцевих елементів або проектування управляючих програм для обладнання з ЧПУ практично в усіх відомих розрахункових і технологічних системах (ANSYS, COSMOS, DUCT, PowerMill, CIMATRON, ALPHACAM та інші).

Програмні засоби доступу до геометричного ядра SolidWorks дозволяють налагодити прямий обмін із зовнішніми додатками, які можуть використовувати всі функціональні переваги цього ядра. При такій взаємодії можна переключатися в зовнішній пакет, не виходячи з SolidWorks. Крім того, обмін інформацією з іншими додатками можна здійснювати з використанням стандартних форматів IGES, DXF, DWG, SAT, STL.

## 5.8. Вимоги до апаратних засобів

Мінімальні вимоги до комп'ютера для роботи з SolidWorks: процесор – Pentium; оперативна пам'ять не менше 32 Мб; відеопам'ять не менше 1 Мб; вільне місце на диску не менше 100 Мб; операційна система Windows 95/98 або Windows NT.

Для максимально зручної й ефективної роботи зі складальними кресленнями, що складаються з сотень елементів, рекомендується збільшити розмір оперативної пам'яті комп'ютера до 48-64 Мб.

## 5.9. Інженерні додатки до SolidWorks

**5.9.1. Toolbox/SE для SolidWorks.** Toolbox/SE являє собою цілком інтегровану в SolidWorks бібліотеку стандартних машинобудівних елементів. Система розроблена американською фірмою Cimlogic (рис.5.4).

Toolbox/SE використовується для створення стандартних конструктивних елементів і деталей, таких як:

- різноманітних типів отворів складаного профілю;
- болтів, гайок, гвинтів, шпильок, гвинтів і шайб;
- різноманітних видів проточок;
- поперечних перетинів стандартного прокату.

Крім того, система дозволяє виконати найпростіший розрахунок прогину балок.

Перераховані вище елементи створюються у відповідності зі стандартами ANSI, ISO, DIN, BSI, JIS. Передбачено можливість адаптації до вимог ЕСКД, а також до стандартів галузі або конкретного підприємства.

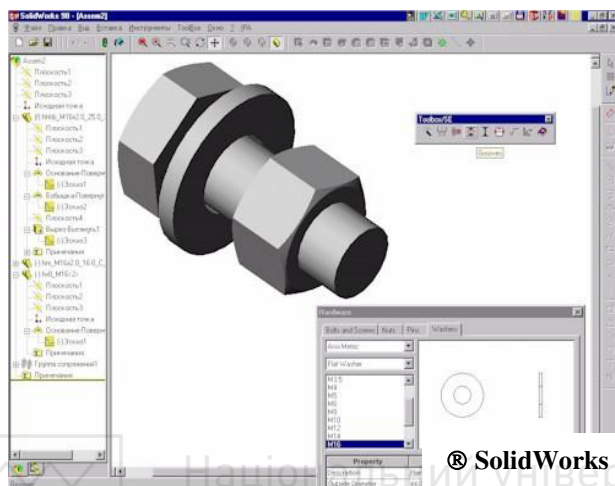


Рис.5.4. Створення стандартних конструктивних елементів і деталей в додатку Toolbox/SE для SolidWorks

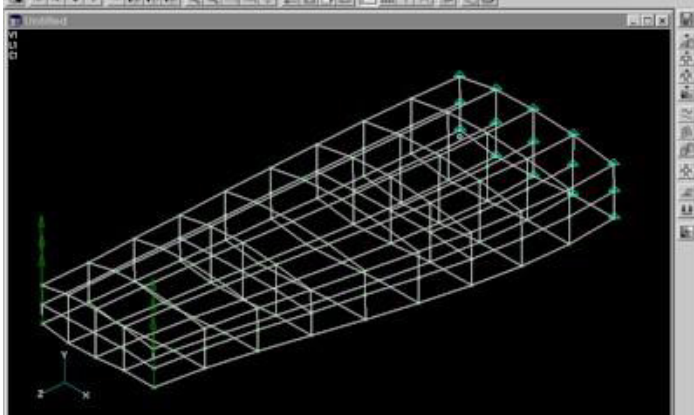
### 5.9.2. MSC/NASTRAN для Windows v. 4.0 і MSC/InCheck.

**MSC/NASTRAN для Windows** - це система інженерних розрахунків, яка базується на методі кінцевих елементів (рис.5.5). Пакет розроблений спеціалістами фірми MacNeal Schwendler Corporation (США) на базі широко відомої однойменної системи для UNIX.

Геометричні моделі для MSC/NASTRAN можна як формувати за допомогою внутрішнього препроцесора системи, так і імпортувати з будь-якої іншої CAD-системи. MSC/NASTRAN для Windows має прямий інтерфейс із системою твердотільного параметричного моделювання SolidWorks. Крім того, система може працювати з готовими кінцевоелементними моделями, що були створені за допомогою інших систем інженерних розрахунків і потім передані в MSC/NASTRAN

Система має модульну архітектуру, і конкретна конфігурація може бути визначена окремо для кожного користувача. При цьому для роботи з будь-яким із додаткових модулів необхідно мати базовий модуль Basic Analysis, що дозволяє проводити наступні види розрахунків:

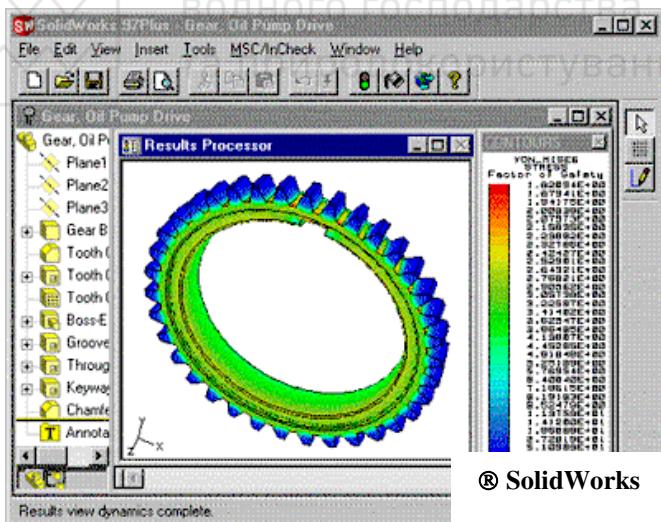
- лінійні статичні розрахунки;
- аналіз напруг і переміщень під впливом як фізичних, так і теплових навантажень (рис.5.6);
- розрахунки власних частот і форм коливань;
- визначення поведінки вигину для центральнонавантаженого стрижня.



This program is a licensed version of FEMAP 5.88  
Copyright © 1985-1998 Enterprise Software Products, Inc.  
Analysis modules Confidential and Proprietary to MSE. All Rights Reserved.  
Read: Nodes 730, Elements 204

® SolidWorks

Рис.5.5. Робоче вікно додатків MSC/NASTRAN для Windows v. 4.0 і MSC/InCheck. MSC/NASTRAN для Windows



® SolidWorks

Рис.5.6. Аналіз напруг і переміщень під впливом фізичних і теплових навантажень

Модулі **Advanced Analysis** розширюють можливості базового модуля і дозволяють проводити нелінійний і динамічний аналіз, а також тепловий розрахунок.



**Модуль нелінійного аналізу (Nonlinear Analysis)** дозволяє вирішувати статичні і динамічні задачі з врахуванням фізичної і геометричної нелінійності.

Розглядаються наступні види фізичної нелінійності (нелінійні властивості матеріалів):

- пластичність (для малих деформацій);
- умови текучості за Мізесом і Тріскотняві;
- умови текучості Мора-Кулона і Друкера-Прагера;
- ізотропне, кінематичне і комбіноване зміцнення;
- білінійний і багатоточковий (табличний) методи задавання кривих залежності напруг від деформацій;
- гіперпружні властивості (для великих деформацій);
- нелінійна пружність (для малих деформацій);
- термopружність;
- в'язкопружність (повзучість);
- в'язкопружність з врахуванням пластичності.

Геометрична нелінійність:

- великі переміщення та великі кути повороту (модифікований лагранжیان);
- великі деформації (повний лагранжیان для гіперпружних матеріалів);
- аналіз втрати втомлюваності (потріскування);
- слідкуючі навантаження.

**Модуль розрахунку теплопередачі (Heat Transfer)** вирішує наступні задачі:

- лінійний і/або нелінійний сталий стан;
- лінійні і/або нелінійні перехідні процеси;
- простий перехід до розрахунку температурних деформацій і напруг.

**Модуль динамічного аналізу (Dynamic Response)** призначений для рішення задач дослідження напружено-деформованого стану конструкцій, які схильні до впливу навантажень, що змінюються в залежності від часу чи частоти.

**Цілком інтегрована в MSC/NASTRAN для Windows система CFDesign** вирішує задачі гідрогазодинаміки, включаючи ламінарні та турбулентні потоки рідини і газу з можливістю розрахунку процесів теплопередачі.

На початку 1998 року фірма MacNeal Schwendler Corporation випустила “полегшений” модуль MSC/InCheck, цілком інтегрований з пакетом SolidWorks (працює як умонтований додаток) і призначений спеціально для конструкторів, що працюють із SolidWorks, але мають не дуже глибокі теоретичні знання в області розрахунків методом кінцевих елементів.

**5.9.3. COSMOS/Works** являє собою систему інженерних розрахунків, створену спеціально для спільного використання із системою твердотільного параметричного моделювання SolidWorks.

Всі розрахунки проводяться на основі методу кінцевих елементів



(МКЕ). Система COSMOS/Works розроблена американською компанією Structural Research & Analysis Corporation і поставляється в трьох варіантах конфігурації: базової (Basic), проміжної (Intermediate) та розширеної (Advanced).

**Базова конфігурація** дозволяє проводити наступні види розрахунків:

- статичний розрахунок напруг і деформацій;
- розрахунок повздовжнього вигину для визначення критичного навантаження, при котрому прямолінійна форма рівноваги центрально-стиснутого стержня стає невірноваженою
- частотний аналіз для визначення власних частот і форм коливань;
- розрахунок сталей і перехідних теплових процесів.

**Проміжна конфігурація** на додаток до можливостей базової забезпечує:

- лінійний динамічний аналіз із використанням результатів частотного аналізу;
- статичний і динамічний нелінійний структурний аналіз.

**Розширена конфігурація** в порівнянні з проміжною забезпечує:

- аналіз стомлення;
- аналіз ламінарного руху рідини;
- оптимізацію форми і конструкції деталей;
- аналіз низькочастотного електромагнітного випромінювання.

При проведенні розбивки твердого тіла на кінцеві елементи використовуються так звані **h**-елементи. Точність рішення при використанні **h**-елементів підвищується за рахунок поліпшення якості сітки KE, яка наноситься на поверхню. Для проведення розрахунків система дозволяє використовувати як об'ємні типи кінцевих елементів, так і поверхневі, що дуже зручно при аналізі тонкостінних оболонок.

Об'ємні елементи являють собою тривимірні тетраедричні елементи (лінійні та параболічні), одержувані при нанесенні сітки кінцевих елементів на тверде тіло. Поверхневі кінцеві елементи можуть бути трикутними і квадратичними, а також лінійними і параболічними.

COSMOS/Works дозволяє передавати результати обчислень у системи ANSYS і MSC/NASTRAN.

Крім того, користувач може зберігати результати розрахунків у форматі VRML, а також створювати AVI - файли на основі анімаційного уявлення навантаження деталі.

**5.9.4. DesignWorks** – це комплекс цілком інтегрованих у SolidWorks систем інженерних розрахунків, розроблених фірмою CADSI (США).

DesignWorks містить у собі три самостійні програмні продукти, що можуть бути придбані як по окремості, так і в будь-яких сполученнях:

- DesignWorks/Motion для кінематичного аналізу зборок, створених у SolidWorks;
- DesignWorks/Structure для розрахунків на міцність;
- DesignWorks/Thermal для теплових розрахунків (рис.5.7).

До числа основних можливостей DesignWorks/Motion відносяться:

- автоматичне використання геометричних зв'язків, заданих між деталями в складанні SolidWorks;
- кінематичний і динамічний аналіз зборок;
- розрахунок координат, швидкостей, прискорень і сил взаємодії;
- анімація зборок у SolidWorks (рис.5.8);
- передача результатів розрахунків у DesignWorks/Structure.

DesignWorks/Structure забезпечує:

- використання твердотільної моделі, створеної в SolidWorks;
- автоматичне нанесення сітки KE;
- перевірку напруг, переміщень і власних частот;
- контроль збіжності рішення за допомогою графіка збіжності.

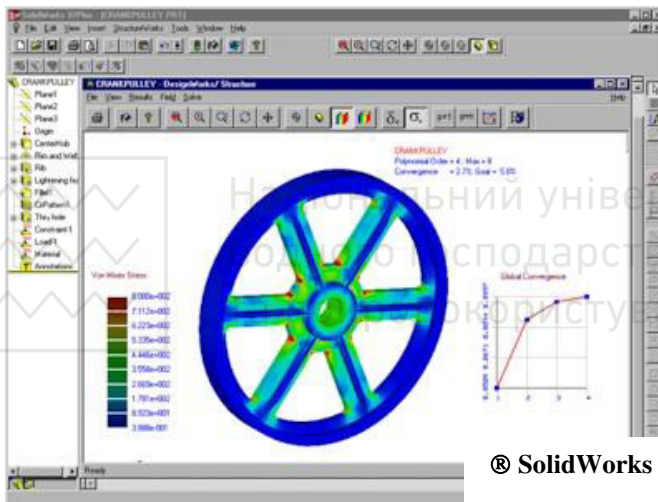


Рис.5.7. Теплові розрахунки деталей в DesignWorks/Thermal

DesignWorks/Thermal дозволяє проводити теплові розрахунки моделей, створених у SolidWorks, за допомогою методу кінцевих елементів. Точність рішення контролюється за допомогою графіка збіжності.

Розбивка на сітку кінцевих елементів проводиться на базі *p*-елементів, що дозволяють із високим ступенем точності відобразити реальну твердотільну геометрію деталі чи вузла. Ступінь точності рішень досягається за рахунок підвищення ступеня поліному, що описує форму кінцевого елемента.

**5.9.5. DesignSpace для SolidWorks.** Система DesignSpace призначена для виконання інженерних розрахунків конструкцій, створених засобами SolidWorks. DesignSpace розроблена американською компанією SAS IP, Inc., творцем відомої системи інженерних розрахунків ANSYS (рис.5.9).



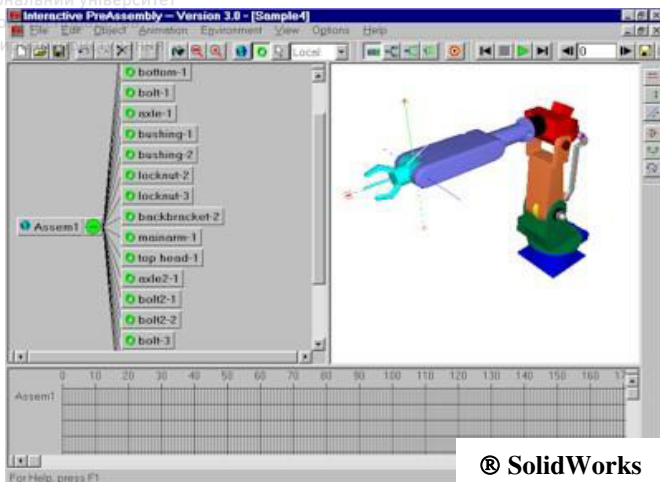


Рис.5.8. Анімація зборок у SolidWorks

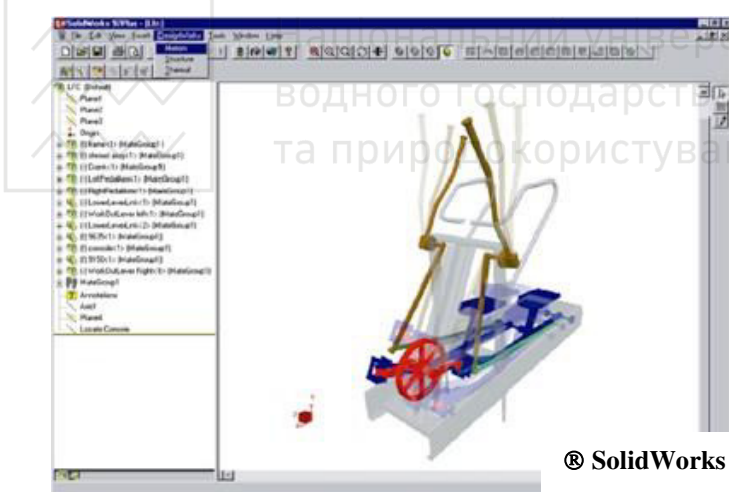


Рис.5.9. Робоче вікно системи інженерних розрахунків конструкцій DesignSpace для SolidWorks

DesignSpace являє собою цілком інтегровану в SolidWorks систему для виконання розрахунків на міцність і вібрацію. Система поставляється у вигляді трьох окремих незалежних модулів:

- DesignSpace Stress Wizard - для статичного розрахунку на міцність;
- DesignSpace Vibration Wizard - для розрахунку вібраційних характеристик;



Для зручності користувачів DesignSpace пропонує використання так званих майстрів (Wizards), що допомагають навіть малознайомому з розрахунком методом кінцевих елементів користувачу виконувати достатньо складні задачі. DesignSpace Explorer дозволяє користувачу не тільки максимально зручно виконувати розрахунки та маніпулювати їхніми результатами, але і подавати результати у виді, доступному партнерам по розробці через Internet. Підтримується можливість зберігання результатів аналізу у форматі VRML 4.0.

**5.9.6. Interactive PreAssembly 4.0.** З моменту переходу проекту на стадію виробництва встає питання про визначення порядку складання механізму. Крім того, потрібно підготувати керівні матеріали для організацій, які будуть займатися експлуатацією і технічним обслуговуванням. Для цього можна скористатися системою інтерактивного моделювання процесу складання Interactive PreAssembly, створеною американською компанією Immersive Design Inc.

Пакет Interactive PreAssembly 4.0 (IPA) призначений для анімації процесу складання, розбирання та технічного обслуговування механізмів, запроектованих у SolidWorks. Одночасне застосування Interactive PreAssembly підвищує наочність рекламних матеріалів, що подаються замовникам, за рахунок одночасної фотовізуалізації “пожвавлених” зборок.

Якість проектування конструкцій механізмів значно збільшується в силу їхньої перевірки в динамічному режимі, а також за рахунок перевірки деталей, що входять до складального креслення, на взаємні колізії (перетинання і співудари) (рис.5.10).

Система призначена в основному для спільного використання з SolidWorks, проте можливі два варіанти її використання - запуск безпосередньо з SolidWorks або незалежне використання при роботі з файлами моделей, створених у SolidWorks

Можливості системи IPA дозволяють визначити типи руху (зворотно-поступальний, обертовий, обертально-поступальний) як окремих деталей, так і цілих вузлів, що входять до складального креслення. Користувачу необхідно також заповнити таблицю, що визначає порядок руху деталей і вузлів, розміри їхніх переміщень і кутів повороту.

На основі заданих параметрів система IPA генерує стандартний AVI-файл, який можна запустити за допомогою стандартних засобів Windows.

Ці AVI-файли можуть бути використані як наочні приладдя при підготуванні виробництва, при навчанні та перепідготовці персоналу, який займається технічним обслуговуванням продукції, а також для демонстрації замовнику можливостей і характеристик запропонованої продукції ще до випуску перших дослідних зразків (рис.5.11).

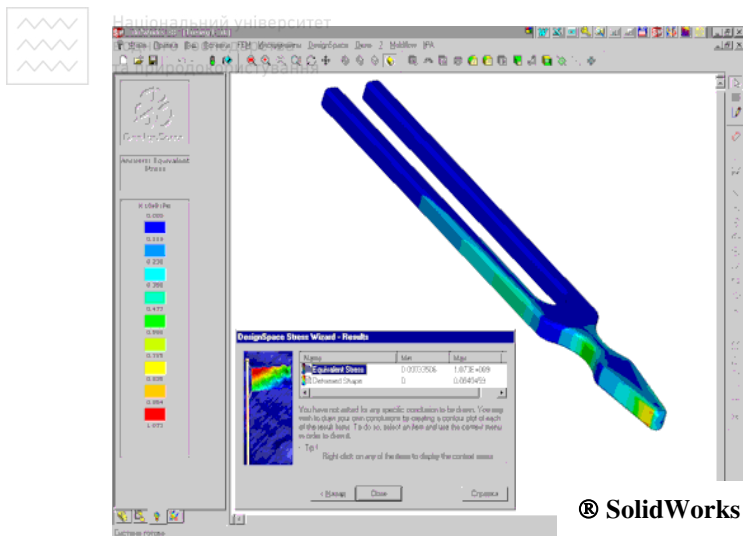


Рис.5.10. Процес перевірки механізмів в динамічному режимі на взаємні колізії (перетинання і співударі) в Interactive PreAssembly

**5.9.7. Part Adviser.** Part Adviser - це перший програмний продукт із розробленої MoldFlow Corporation серії програм Plastic Adviser. Part Adviser дає можливість швидкої перевірки будь-якої деталі, яка одержується за допомогою лиття пластмас під тиском, на максимальну відповідність умовам виробництва. Система створена на основі неньютонівської неізо-термічної математичної задачі, що враховує реальне поведіння пластмаси при литті під тиском. Разом із системою поставляється база даних матеріалів, що включає в собі більш 4000 різноманітних полімерів, які використовуються у всьому світі (рис.5.12).

Part Adviser дозволяє кожному конструктору використовувати на своєму робочому місці найбільше сучасні методи аналізу поведінки пластмас при литті. Part Adviser максимально простий у використанні і не вимагає від користувача спеціальних знань про процеси лиття пластмас під тиском. Система враховує реальні умови виробництва й пропонує практичні поради з виникаючих проблем.

Конструктор наочно бачить, як впливає на процес лиття зміна товщини стінок і розміщення точок вприскування, додавання таких конструктивних елементів, як ребра жорсткості, а також зміна параметрів обраного матеріалу.

Part Adviser дає відповіді на питання, що виникають у процесі виробництва:

- з якою якістю буде відлита деталь;
- де утворяться зварні лінії;
- де утворяться каверни.

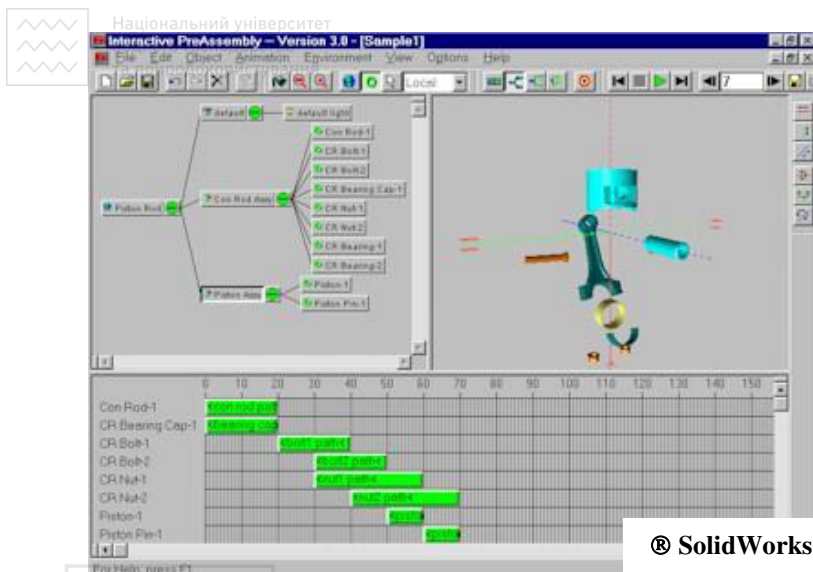


Рис.5.11. Робоче вікно системи інтерактивного моделювання процесу складання Interactive PreAssembly

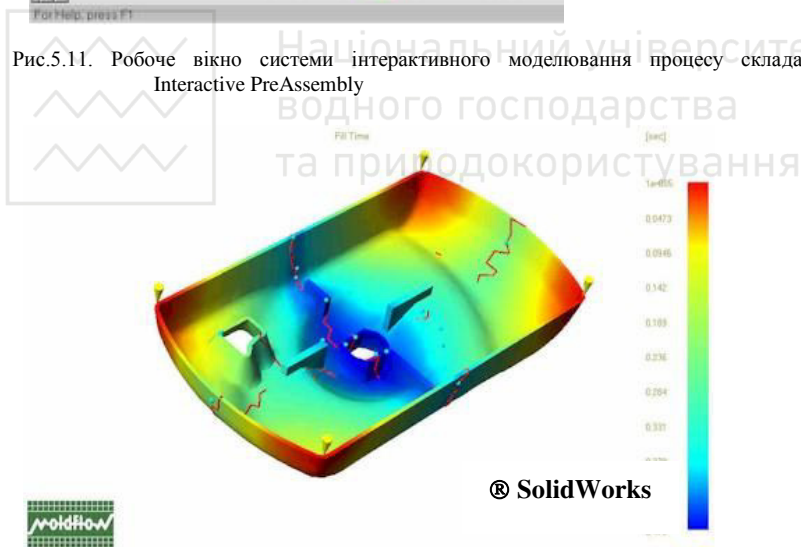


Рис.5.12. Процес перевірки деталі, яка одержується за допомогою лиття пластмас під тиском в Part Adviser

Завдяки тому, що система цілком інтегрована в SolidWorks, конструкція деталі може бути легко змінена відповідно до умов виробництва ще на ранній стадії розробки технології, поки вартість внесених змін мінімальна.

**5.9.8. RevWorks –система введення даних із 3D-дигітайзера.** При організації виробництва найчастіше виникає необхідність розв’язання й обер-

нених задач, коли на основі вже готового виробу необхідно одержати його об'ємну геометричну електронну модель. Ця потреба може виникнути при рішенні задач пошуку оптимальної форми виробу, розроблюється. Наприклад, уже після виготовлення прототипу моделі за допомогою стереолітографічної установки його доробляють на будь-якому устаткуванні. Для того, щоб відслідкувати зміни при опрацюванні, може бути використаний 3D-дигітайзер і відповідне програмне забезпечення.

Розробки в області запровадження даних із 3D-дигітайзера ведуться у рамках партнерської програми Solution Partner фірма Design Automation. Розроблений нею продукт RevWorks дозволяє організувати збір даних про геометрію вже готового виробу і передачу цих даних у SolidWorks. Важливо, що при цьому методі впровадження геометрії зберігаються всі основні принципи створення моделі, що використовуються в SolidWorks.

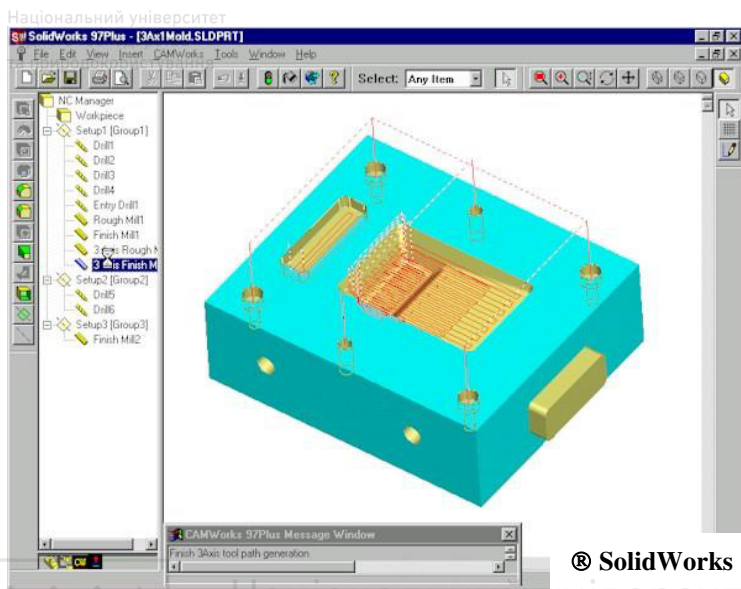
Працюючи в RevWorks, користувач послідовно визначає конструкцію виробу (розташування конструктивних площин, контуру майбутніх конструктивних елементів і самих конструктивних елементів). При цьому, як і в нормальному режимі роботи з SolidWorks, ведеться дерево побудов, а модель є параметричною. У будь-який момент можливий перехід від створення моделі з використанням 3D-дигітайзера до звичного для конструктора способу роботи з інтерактивним впровадженням.

Точність впровадження конструктивних елементів досягається за рахунок використання високоточного устаткування і відповідних математичних алгоритмів. Для створення двомірних ескізів може бути використана будь-яка довільна кількість точок.

Система RevWorks дозволяє виконувати також впровадження параметрів конструктивних елементів, утворюваних у нормальному режимі з фізичної моделі, розміщуючи їх у буфері обміну. Легко можуть бути заміряні кути, довжини примітивів, глибини отворів, радіуси кіл тощо.

**5.9.9. CamWorks.** У даний час користувачам доступні як цілком інтегровані системи (базуються на інтерфейсі SolidWorks і не потребують передачі геометрії з однієї системи в іншу), так і самостійні (stand-alone) пакети, зв'язок із яким здійснюється через стандартні формати обміну даними. Представником першої групи є система CAMWorks фірми TekSoft, Inc., призначена для генерації керуючих програм на фрезерні верстати. З самостійних програмних продуктів, призначених для опрацювання моделей, створених у SolidWorks, широко відома користувачам усього світу система PowerMILL фірми Delcam International plc.

CAMWorks являє собою цілком інтегровану в SolidWorks систему генерації керуючих програм для багатокоординатних фрезерних верстатів із ЧПУ (рис.5.13). На основі твердотільної моделі CAMWorks автоматично генерує дерево опрацювання, визначаючи типові задачі (обробка кармана, обробка отвору тощо) та їх параметри. Задача на опрацювання нестандартних елементів можуть бути додані користувачем самостійно.



© SolidWorks

Рис.5.13. Процес генерації керуючих програм для багатокоординатних фрезерних верстатів із ЧПУ в CAMWorks

Далі система автоматично призначає різноманітні типи інструменту, необхідні для послідовного виконання всіх етапів опрацювання (чорнова, напівчистова тощо), вибираючи їх з існуючої бази даних. Для кожного інструменту користувач може призначити параметри роботи, відмінні від заданих системою за замовчанням.

Після генерації програми в універсальних кодах відходи опрацювання постпроцесором, що відповідає наявному верстату. Отримані дані (готова програма) передаються на станки ЧПУ за допомогою цехового інтерфейсу (прямого керування, на гнучких дисках тощо).

Важливим для користувача моментом є асоціативний зв'язок між геометрією моделі, створеної в SolidWorks, і керуючими кодами для опрацювання на устаткуванні з ЧПУ, згенерованими у CAMWorks. Це означає, що всі зміни, внесені в модель, будуть автоматично відслідковані та призведуть до миттєвої зміни тієї частини керуючої програми, якої стосуються дані зміни.



## СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЮ ПІДГОТОВКОЮ ВИРОБНИЦТВА

### 6. СИСТЕМА ПРОГРАМУВАННЯ ОБРОБКИ НА СТАНКАХ З ЧПУ *ГЕММА-3D*

#### 6.1. Загальні відомості про систему ГЕММА-3D

Система ГеММа-3D призначена для комп'ютерної підготовки керуючих програм для обладнання з ЧПУ (рис.6.1). Вона є однією з найбільших САМ- систем, які використовуються на машинобудівних підприємствах країн СНД [16 - 22].

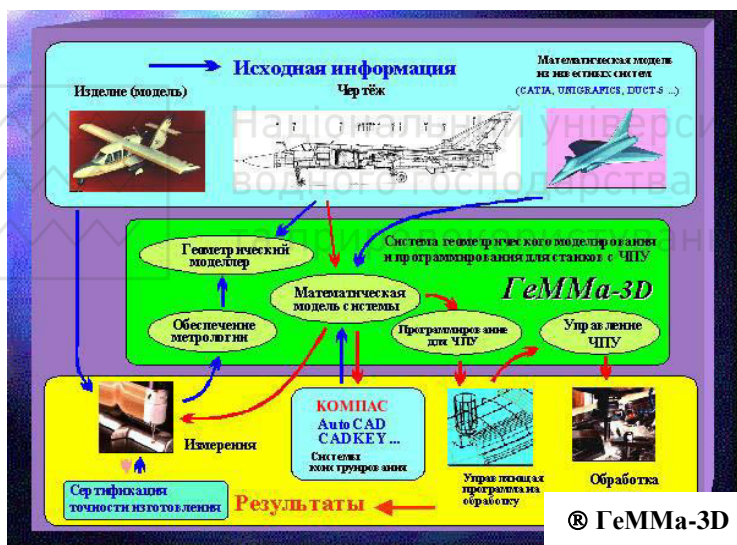


Рис.6.1. Функціональні можливості системи ГеММа-3D

Створена для експлуатації під MS-DOS, ГеММа-3D в усіх версіях могла функціонувати на найбільш слабких моделях IBM PC починаючи з 286-ї.

Система ГеММа-3D, базується на можливостях рішення основних задач розробки – побудови математичних моделей виробу та формування ефективних керуючих програм для його обробки на верстатах з ЧПУ.

В системі ГеММа-3D, що створювалася для використання в виробництві аеродинамічних моделей літаків в Центральному Аерогідродинамічному інституті, моделювання складних поверхонь традиційно є предметом пос-



Стиль побудови об'єктів в системі ГеММа-3D максимально наближений до режиму роботи "олівцевого" конструктора, тому при освоєнні системи не виникає великих проблем як в конструкторів, так і в студентів.

Загальна структура системи (рис.6.2) відображає її основне призначення – інструментальний засіб технолога-програміста для обладнання з ЧПУ.

Система орієнтована на три основних режими експлуатації. По-перше, в якості самостійного інструментального засобу, що забезпечує рішення всіх задач технологічного підрозділу. По-друге, в поєднанні з CAD/CAM системами високого рівня в якості їхнього розширення, що забезпечує комплектацію додатковими робочими місцями низької вартості на розповсюджених IBM PC. По-третє, в якості компоненти комплексної САПР, що формується з програмних засобів середнього та низького рівня, що орієнтовані на IBM PC.

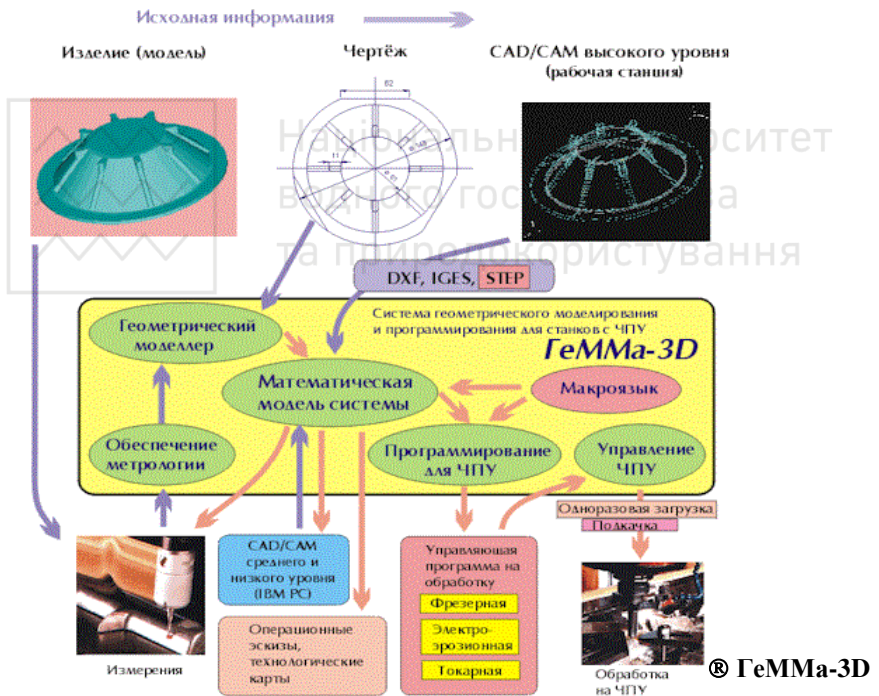


Рис.6.2. Структура системы ГеММа-3Д

За допомогою системи ГеММа-3D можна побудувати будь-яку модель. Біля 95% побудов можна розв'язати передбаченими в системі функціями. Інші також можна розв'язати, але для цього необхідно перейти в більш низький, ручний режим побудови елементів, після чого задача вирішується

Перевагами застосування тривимірної контурної корекції при проектуванні на радіус інструменту та перенесенні його на обробку просторових поверхонь є:

- при проектуванні керуючої програми задовго до обробки можна не прив'язуватись до конкретного інструменту, а використовувати той, що є в наявності на час обробки в залежності від особливостей технологічного процесу - це може бути будь-який тороїдальний інструмент від циліндричного до сферичного;
- в оператора верстату з ЧПУ з'являється більше можливостей для гнучкої експлуатації керуючих програм, використовуючи послідовне зняття матеріалу, він може добитися більш точних розмірів деталі, ніж при використанні одного конкретного інструменту, що "підтупився" і вимагає перезаточування;
- можна зробити припуск постійної товщини, наприклад, для зняття металу після термообробки, або, навпаки, зняти певний шар вглиб поверхні, наприклад, для створення міжелектродного зазору при виготовленні електродів;
- можна, використовуючи одну програму, обробити матрицю та пуансон для деталей постійної товщини, замінивши в ній тільки підхід і відхід інструменту.

Тривимірна корекція є вбудованою функцією обладнання ЧПУ FIDIA. З метою її впровадження на старих верстатах радянського виробництва, була розроблена програма, що перетворює програми тривимірної корекції в програми для конкретного інструменту. Для досягнення більшого ефекту, програма була максимально наближена до робочого місця оператора верстату з ЧПУ.

В системі ГеММа-3D є можливим виконання складних, частіше всього просторових, геометричних розрахунків.

В якості іншого прикладу застосування системи є проектування нових виробів. Спочатку будується декілька варіантів моделей виробу. За допомогою модуля тонової візуалізації створюються реалістичні зображення моделей. З них вибирають кращу, і якщо необхідно, виготовляють модель з легкого матеріалу, що обробляється на верстаті з ЧПУ. Коли модель визнана придатною, інформацію передають в системи КОМПАС чи AutoCAD, де конструктори доповнюють модель необхідними деталями та створюють креслення виробу. Оскільки модель в системі ГеММа-3D вже готова, не виникає особливих труднощів в організації виробництва цього виробу.

Поряд з базовими засобами експлуатації системи, вона стала основою для розробки спеціалізованих додатків до програмних комплексів і технологічного обладнання, таких як технологічні модулі T-FLEX ЧПУ і КОМПАС-ЧПУ, які відносяться до найбільш відомих систем автоматизації проектування та виробництва та спеціалізованих програматорів до технологічного моду-

ля (фрезерування, вимірювання) типу “Гексапод” виробництва АО “ЛАПК”, до гравірувальних механічних і лазерних установок тощо.

Дані рішення забезпечили високу універсалізацію застосування системи, яка ефективно використовується на великих машинобудівних підприємствах, в окремих цехах і невеликих виробництвах, в домашніх умовах у фахівців, що виконують індивідуальні замовлення на програмування обробки на верстатах з ЧПУ чи здійснюють виготовлення дрібних декоративних художніх виробів.

Вихідною інформацією для системи (рис. 6.3) можуть служити креслення, що описують деталь, яка повинна бути виготовлена; математичні моделі, підготовлені в відомих CAD/CAM системах; матеріали вимірів деталі-прототипу на програмуючій контрольно-вимірювальній машині або цифрові (плазові) таблиці точок характерних ліній деталі.

Однією з переваг системи є її комунікаційні можливості. На даний час в ній сприймається інформація в обмінних форматах DXF і IGES – всі передбачені геометричні елементи. Істотним доповненням в версії 6.0 стала реалізація обмінного формату STEP. До графічних інтерактивних операцій, що виконуються фахівцем-користувачем системи при побудові геометричних моделей і формуванні керуючих програм, додана можливість їхнього здійснення в програмованому режимі. З цією метою була розроблена макромова користувача системи ГеММа-3D, яка забезпечує доступ до всіх можливостей геометричного редактора, технологічних процедур, архіву даних. На цій основі розробляються типові параметризовані модулі – додатки до основної системи. Поряд з базовими функціями геометричного моделювання та програмування обробки, до складу версії 6.0 системи ГеММа-3D входить забезпечення розробки маршрутних технологій, що орієнтується, передусім, на інструментальні виробництва та технологічні відділи цехів, що експлуатують верстати з ЧПУ (рис.6.3).

Система забезпечує програмування для технологічного обладнання з ЧПУ. Поряд з розвиненим забезпеченням фрезерної та електроерозійної обробки, в версії 6.0 забезпечується програмування для токарних і розточних верстатів, обробка вимірів виробів на програмуючій контрольно-вимірювальній машині для оцінки точності виготовлення.

Однією з сильних сторін системи є моделювання складних поверхонь, яке залишається предметом досліджень і постійного вдосконалення.

## **6.2. Моделювання складних поверхонь в системі ГеММа-3D**

В сучасних конструкторських системах для моделювання геометричного вигляду виробів, які проектуються широко застосовується твердотільне моделювання. Базовий набір геометричних об'єктів, які використовуються при моделюванні, складає типові елементи форми - призма, циліндр, конус, сфера, тощо. Поряд з ними можуть використовуватись певні види кінематичних поверхонь і поверхонь обертання. Найбільш складні CAD-системи

мають в своєму розпорядженні розширений набір засобів. Вони включають процедури моделювання поверхонь різноманітного типу, що або використовуються безпосередньо, або, після спряження, складають тверді тіла [17].

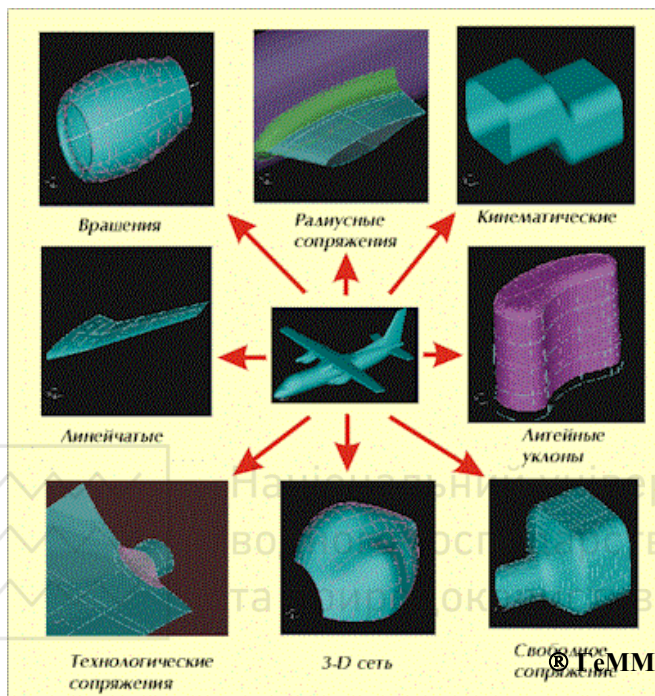


Рис.6.3. Возможности моделирования поверхностей в системе ГеММа-3D

В системе ГеММа-3D підтримуються майже всі відомі методи побудови поверхонь. Лінійні поверхні формуються при сполученні прямо лінійними відрізками відповідних точок двох кривих.

Відповідність точок встановлюється системою автоматично, за рівними відносними довжинами дуг від точок до початку кожної з кривої. Іншим варіантом відповідності є попереднє ручне розбивання кривої на однакове число сегментів. Управління довжиною сегментів, а також їхньою кількістю забезпечує завдання будь-якої бажаної відповідності для поверхні, що будується. Кінематичні поверхні будуються по заданій направляючій і одній або декількох твірних. Твірні при побудові можуть зберігати вихідну, задану конструктором, орієнтацію або розміщуватися в площинах, перпендикулярних до утворюючих в даних точках.

Потужним засобом моделювання поверхонь в системі ГеММа-3D є їхня побудова на основі двох сімейств каркасних кривих. Передбачений ряд методів побудови – поверхня Кунса та Без'є з безперервними нормлями по

межах сегментів, а також, з метою максимального згладжування, з обмеженими розривами, меншими заданих умов на точність обробки.

В системі ГеММа-3D передбачена побудова різноманітних видів технологічних спряжень - з постійним радіусом (типу “куля, що котиться”) або змінним за заданим законом, для тора та конуса з заокругленням, що переміщується з одночасним дотиком обох спряжених поверхонь.

Спряження поверхні з кривою, що виконується з постійним або змінним радіусом, а також тором і конусом (“підсічки”) використовуються для побудови проєктувальних кромок змикання форм лиття, задавання зон обробки для фрез з великими геометричними розмірами тощо. Можливість гладкого спряження двох поверхонь третьою між довільними у межах, що задані на них. Гранично спрощено в системі побудову ліній роз’єму, а також ливарних уклонів. При необхідності автоматично може бути виконано певне подовження поверхонь. Поряд з вихідними поверхнями в усіх операціях можуть брати участь еквідистантні до них поверхні.

Система забезпечує широкі можливості завдання підходу інструменту до поверхні та відходу від неї, а також переміщення фрези між робочими рядками в траєкторії обробки (рис.6.4). Довжини ділянок підходу та відходу, їхні напрямки в початку та кінці робочих рядків, а також в заданих точках на поверхні та просторі можуть визначатися автоматично або задаватися користувачем. При підготовці програм обробки можуть бути задані умови гальмування, величина припуску, що знімається в одному проході, висот та нерівностей (“гребінців”) між рядками обробки. Програмування обробки може виконуватися в довільній системі координат. Є спеціальні засоби для прив’язки програми до деталі та системи координат верстату [18].

Для 4-х і 5-и координатної обробки може бути задане положення фрези відносно поверхні, що обробляється торцем, боковою поверхнею фрези, з довільним кутом нахилу (кути випередження або запізнення) по відношенню до нормалі в точках поверхні та напрямленню руху інструменту.

Надзвичайно ефективним технологічним засобом за функціональним можливостям є забезпечення гравіювання. Воно успішно доповнює відомі засоби ArtCAM (фірма DELCAM) і Symagraphi (фірма Bee Pitron).

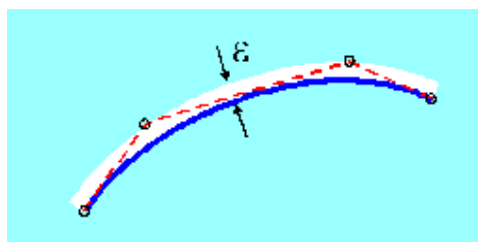
На відміну від них, гравіювання в системі ГеММа-3D орієнтується на повздовжню структуру зображення, що обробляється та використання гравіювального інструменту різноманітної геометрії (конус, “хвіст ластівки” тощо).

Дане забезпечення надзвичайно ефективно використовується при нанесенні розмітки та маркування на технічних виробах, а також виробництві художніх виробів - печаток, еклібрисів, склотари, меблів, декоративного оформлення архітектурних споруд.

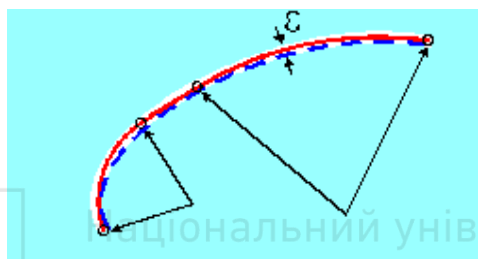
На підвищення ефективності програмування обробки направлений розвинутий комплекс інструментальних засобів технолога-програміста, що постійно вдосконалюється та поповнюється (рис.6.5).



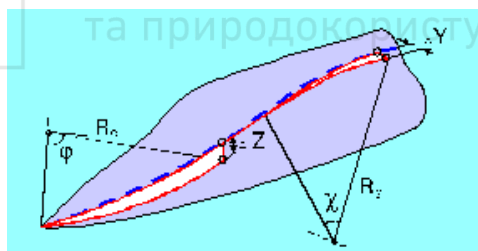
### А) Вихідна траєкторія



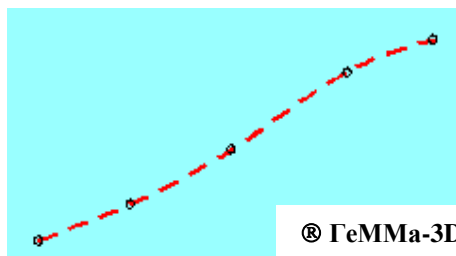
### Б) Кусково-дугова апроксимація



### В) Гвинтова апроксимація



### Д) Апроксимація сплайном



® ГеММа-3D

Рис.6.4. Можливості гладкої апроксимації траєкторії інструменту в ГеММа-3D



Найважливішою умовою, яка забезпечує обробку складних поверхонь, особливо в режимі обробки з підвищеною точністю та продуктивністю, став додаток до системи ГеММа-3D програмно-технічних засобів прямого управління верстатами з ЧПУ. Вони призначені для підключення групи верстатів з ЧПУ до персональної ЕОМ і передачі на них керуючих програм по провідних лініях зв'язку. Даний засіб може використовуватися для передачі на верстати з ЧПУ керуючих програм, що генеруються на системі ГеММа-3D і на інших САМ-системах.

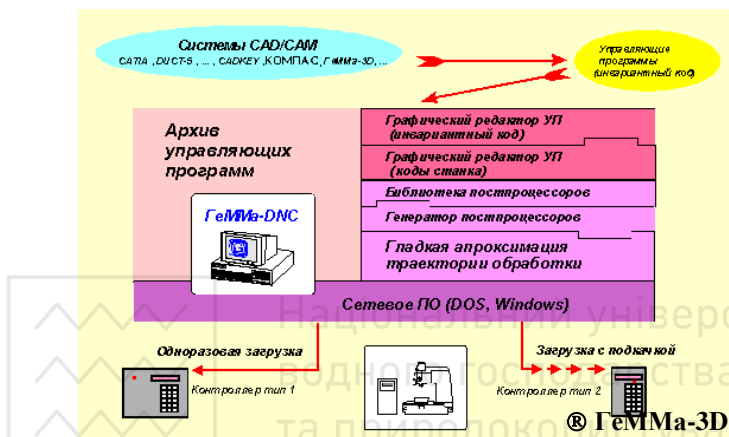


Рис.6.5. Состав цехового программного комплекса

Узагальненням поверхонь обертання є поверхні, відомі як "swung surfaces". Окрім утворюючої осі обертання в площині, перпендикулярній до осі, деяка крива - основа поверхні. При обертанні навколо утворюючої осі, один з її кінців переміщується по основі. Сама утворююча при цьому може при необхідності масштабуватись.

Ряд методів ґрунтується на задаванні одного чи двох сімейств "каркасних кривих", на які "лягає" поверхня, що будується.

Поверхні на основі одного сімейства каркасних кривих відомі як "skinned surfaces" або "lofted surfaces". Вони були створені для потреб кораблебудування - для опису форми корпусу корабля використовували набір шаблонів. Для кращого опису поведінки поверхні між заданими каркасними кривими інколи також використовується додаткова напрямна крива.

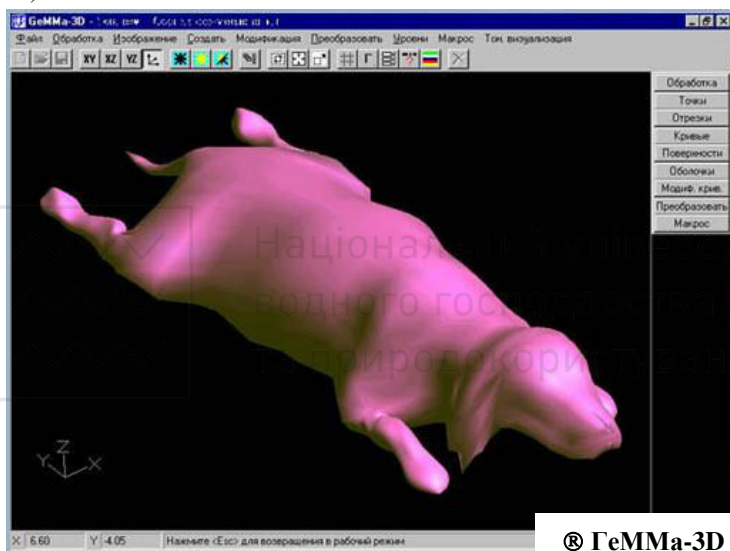
Поверхні на основі двох сімейств каркасних кривих забезпечують користувачу найбільш повний контроль над формою поверхонь, що створюються, але при цьому вони вимагають від нього значно більших зусиль при підготовці вихідних даних. Вони незамінні при описі складних переходів між опорними кривими, що істотно розрізняються, формуванні обтічних поверхонь, характерних для сучасних технічних виробів.



Описаний набір засобів поверхневого моделювання реалізований тільки в дуже невеликій кількості CAD систем. При цьому, як правило, в них реалізуються в повному об'ємі тільки ті засоби побудови поверхні, що краще усього підходять до спеціалізації системи. Якість поверхонь, що створюються може сильно змінюватися від системи до системи.

### 6.3. Способи побудови поверхонь, що використовуються в системі GeMMa-3D

Система підтримує більшість відомих способів побудови поверхонь (рис 6.6).



® GeMMa-3D

Рис.6.6. Робота з NURBS – поверхнями самої високої складності в системі GeMMa-3D

На основі двох опорних кривих можна побудувати лінійну поверхню, що утворюється шляхом сполучення пар відповідних точок прямолінійними відрізками, що їм належать. Користувачу надаються два варіанти задання даної відповідності, в залежності від вибору різноманітних форм поверхонь, які необхідно отримати. В першому варіанті відповідні точки система вибирає так, що вони ділять криву в однакових відношеннях по довжині - параметризація довжиною дуги. Це дає хороші результати в більшості випадків і вимагає мінімуму зусиль з боку конструктора. В другому варіанті відповідність задається наявною параметризацією кривої, тобто вихідним розбиттям на сегменти. При цьому, управляючи сегментацією кривої (наприклад, введенням додаткових точок відповідності тощо), конст-

руктор здійснює контроль над створенням поверхні.

Для побудови поверхні обертання потрібно вказати напрямляючу криву та вісь обертання.

Побудова кінематичної поверхні вимагає завдання двох кривих – напрямляючої та твірної. Допускаються два варіанти переміщення напрямляючої вздовж твірної. В першому випадку вона переміщується зі збереженням орієнтації. У другому випадку напрямляюча при русі займає положення в площині перпендикулярній до твірної.

Система може будувати різноманітні спряження між поверхнями. Між двома поверхнями будуються радіусні спряження типу “куля, що котиться” - “rolling ball fillet”. Радіус кулі може бути постійним або змінюватись за заданим законом. Таке ж спряження можна виконувати для поверхні та

заданої в просторі кривої - дана операція називається “підсічкою”. “Підсічка” використовується як для виконання проектувальних побудов (наприклад, кромки змикання ливарних форм), так і для завдання зон обробки фрезою великого радіусу. Якщо задані дві поверхні й крива на них, то можна побудувати поверхню, що їх з’єднає та яка гладко сполучається з вихідними поверхнями за цими кривими, що утворюють її межі.

Окрім розглянутих універсальних засобів, в системі ГеММа-3D є значна кількість спеціалізованих засобів моделювання поверхонь для проведення допоміжних технологічних побудов. Деякі з них є унікальними й не мають аналогів в інших CAD системах.

Для будь-якої поверхні в системі можна побудувати еквідистантну до неї поверхню. Ця можливість дозволяє використовувати одну й ту ж геометричну модель поверхні виробу для побудови пуансона та матриці при розробці штампку або прес-форми.

Побудова поверхонь роз’єму ливарних форм і ливарних ухилів в системі істотно спрощена. Для побудови поверхні роз’єму форми достатньо задати лінію роз’єму, яку система може будувати автоматично, і бажаний кут нахилу стінок. Аналогічним чином за заданим контуром будуються і ливарні ухили.

Система може будувати поверхню, оброблену фрезою з довільною геометрією робочої частини (тор, бочкоподібна, конус зі заокругленням, тощо) в процесі руху. Дана можливість буває корисною при побудові програм обробки для ЧПУ, навіть не дивлячись на наявність в системі операції обробки оболонок (об’єднання багатьох поверхонь).

Надзвичайно потужним засобом моделювання складних поверхонь в системі ГеММа-3D є створення поверхонь на основі двох сімейств каркасних кривих. Ця можливість закладена в системі з самих перших її версій, постійно розвивається та вдосконалюється.

Підготовка каркасу для побудови поверхні за двома сімействами каркасних ліній в будь-якій CAD/CAM системі є достатньо трудомісткою операцією. Багато систем висувають до каркасних кривих для виконання даної

побудови суворі вимоги, задовольнити які буває непросто. Як правило, необхідно, щоб каркасні криві кожного сімейства, частіше всього, що задаються в вигляді кривих Без'є або **B**-сплайнів, мали однакову кількість контрольних точок. Це пов'язано з тим, що в такому випадку зручно копіювати контрольні точки кривої в прямокутну матрицю контрольних точок Без'є або B-сплайн поверхні без зміни. Параметричні лінії поверхні будуть з'єднувати точки каркасних кривих відповідно одному значенню параметру. Тому конструктор перед побудовою поверхні повинен зробити перебудову каркасної кривої так, щоб вирівняти кількість її контрольних точок, бо в протилежному випадку система просто відмовиться виконувати побудову. Також конструктор повинен розподілити контрольні точки вздовж кривої так, щоб забезпечити форму поверхні, яку необхідно побудувати [17].

В системі ГеММа-3D вдалось істотно спростити підготовку каркасних кривих. Всі необхідні перетворення та вирівнювання параметризації виконуються автоматично. Наприклад, при проектуванні крила аеродинамічної моделі літака, розраховані по профілях точки можна передавати процедурі побудови поверхні відразу після їх апроксимації кривою (зрозуміло початкові та кінцеві точки профілів слід розмістити на загальних кромках поверхні). Система відмовиться будувати поверхню по заданому каркасу, тільки якщо два сімейства каркасних кривих не будуть утворювати "клітчасту" структуру, тобто якщо, наприклад, частина ліній одного сімейства не будуть перетинати всіх ліній іншого сімейства. Це може відбутися тільки в результаті грубої помилки в завданні каркасу.

Система передбачає два варіанти параметризації поверхонь, які необхідно одержати. Перший варіант припускає автоматичну параметризацію за відносною довжиною дуги каркасних кривих. Він дає хороші результати при побудові поверхонь в більшості промислових прикладів. В другому варіанті зберігається вихідна параметризація каркасних кривих. При цьому конструктор одержує можливість самостійно задати відповідність між точками каркасних кривих шляхом введення додаткових контрольних точок. При певному підвищенні трудомісткості, даний підхід забезпечує максимальну гнучкість в формуванні поверхні, що будується.

Якщо користувач задає тільки одне сімейство каркасних кривих, то друге сімейство система може добудувати автоматично з використанням одного з двох означених варіантів параметризації.

Важливим фактором є якість поверхні, що одержується. Поверхня повинна мати хорошу глобальну поведінку, тобто необхідно відслідковувати положення не тільки найближчих каркасних кривих, але й більш віддалених. Також поверхня не повинна мати сторонніх хвиль (осциляцій). Звичайно, в значній мірі, якість поверхні визначається тим, наскільки добре конструктор задав каркасні криві. Буває, що дефекти поверхні задані в формі каркасних кривих, або в заданій користувачем параметризації. Багато також залежить від реалізації процедури побудови поверхні. З точки зору

якості поверхонь ідеальної процедури побудови поверхні не існує. По-перше, саме поняття якості поверхні в значній мірі суб'єктивне. По-друге, практично для будь-якого алгоритму побудови поверхні знаходиться приклад, на якому він працює не ідеально. Тим не менше за якістю поверхонь, що створюються завжди можна судити про клас системи.

На даний момент в системі ГеММа-3D реалізовано два різні методи побудови поверхні за двома сімействами каркасних кривих. Перший метод, що називається “3D мережа”, використовує розроблену в початковий період створення системи дуже вдалу математичну модель на основі поверхні Кунса. Другий метод, що з'явився вперше в 5-й версії системи й вдосконалення якого триває, реалізує складову поверхню Без'є. Наявність двох різноманітних методів побудови поверхні в рамках однієї системи дуже зручно. Як вже відзначалося, ідеального алгоритму не існує. Тому в тих випадках, коли один з двох алгоритмів створює поверхню, не цілком відповідну задуму конструктора, у нього є можливість застосувати другий алгоритм. Це помітно підвищує шанси обійтися без необхідної в протилежному випадку зміни каркасних кривих. Для оцінки якості поверхонь, велику цінність має тонова візуалізація поверхонь, яка добавилась в 6-й версії системи.

Основним недоліком поверхні типу 3D-мережа є неможливість її експорту для передачі в інші системи шляхом відомих стандартів передачі даних. Поверхня типу Без'є подібного недоліку позбавлена. Алгоритм, що її реалізовує має ряд інших переваг.

Зручною можливістю є підтримка сімейств каркасних ліній, що не перетинаються. Якщо криві двох сімейств, не мають точних перетинів, то алгоритм побудови поверхні Без'є автоматично притягне криву іншого сімейства, так, що найближчі точки кривої накладуться, ставши точками перетину. Даний спосіб також підтримує побудову гладких замкнутих поверхонь. Якщо криві одного сімейства замкнуті, причому кінці стикуються гладко, а перша й остання з означених кривих другого сімейства співпадають і проходять через точки сполучення, то при побудові поверхні забезпечується гладкість змикання двох меж поверхні. Так, наприклад, якщо користувачу необхідно побудувати тор з використанням даного способу, то обидва стики меж поверхні будуть гладкими.

При розробці алгоритму поверхні Без'є особливе значення надавалось покращенню якості поверхні - елімінації хвиль. Відомо, що в складеній поверхні Без'є умова безперервності нормалі на стиках патчів накладає дуже суворі обмеження на розміщення контрольних точок. Спроба виконати їх недбало неминує призводити до появи хвиль на поверхні розміром порядку розміру патчу. Підвищення ступеню Без'є, що підвищує ступінь свободи, як правило, тільки посилює ситуацію. Тим же недоліком страждають і поверхні типу В-сплайнів, що самим математичним поданням забезпечують безперервність нормалі, але нітрохи не краще в сенсі боротьби з хвилями.

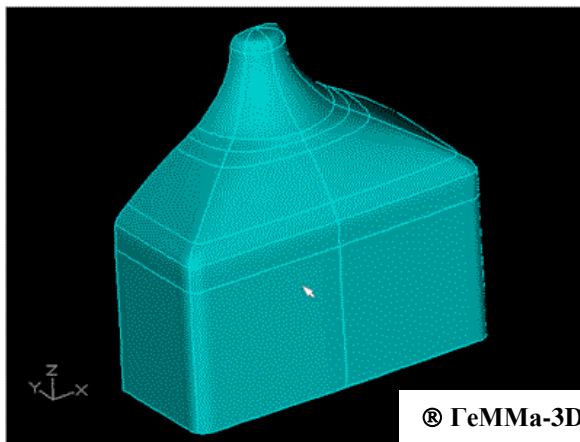
Рисунок 6.7 ілюструє створення поверхні едопротезів, що моделювалися в Московському Інституті Теплотехніки. За каркасними кривими (рис.6.7.а) була побудована поверхня “3D-мережа”, показана на рисунку 6.7.б за допомогою параметричних ліній. Їх форма поблизу від центру виявляє небажані сплюснення. Після цього по тому ж каркасу була побудована поверхня Без’є (рис.6.7 в, г), форма якої виявилася задовільною.



® ГеММа-3D

Рис.6.7. Приклад моделювання поверхні за двома сімействами каркасної кривої

На рисунку 6.8. показана модель поверхні кінескопа спеціального призначення, розробка та виготовлення якого виконувалися фахівцями НПО “Технологія”, м. Обнінск. Побудова цієї складної поверхні була виконана за заданим каркасом за допомогою процедури “Без’є”.



® ГеММа-3D

Рис.6.8. Побудова моделі кінескопа на основі поверхні Без’є



## 6.4. Можливості обробки деталей в системі ГеММа-3D

Основна функціональна задача системи ГеММа-3D полягає в формуванні ефективних керуючих програм обробки деталей на верстатах з ЧПУ [20]. Система забезпечує підготовку керуючих програм для всіх типів верстатів з ЧПУ (рис.6.9) та для основних видів обробки поверхонь (рис.6.10).

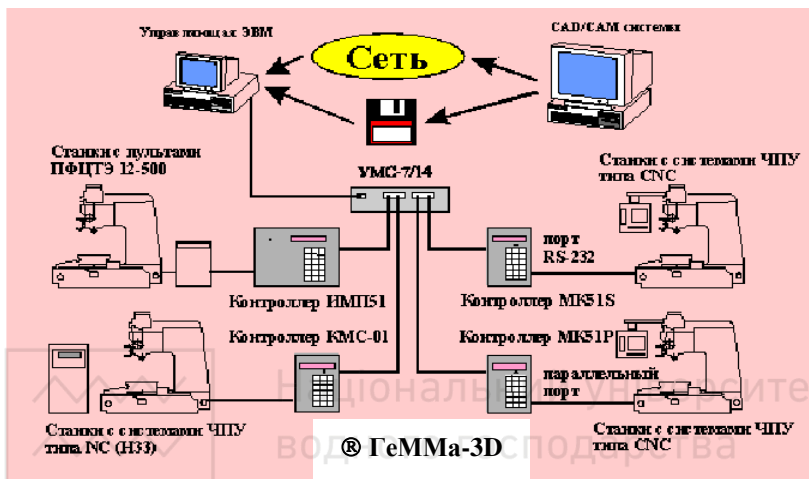


Рис.6.9. Засоби дистанційного управління станками з ЧПУ в підсистемі ГеММа- DNC



Рис.6.10. Види обробки в системі ГеММа-3D



**в системі GeMMA-3D версії 6.0.** В сучасних умовах найважливішою вимогою до технологічних систем стає забезпечення можливостей програмування обробки виробів складної форми твердосплавним інструментом з підвищеною точністю та продуктивністю.

Фрезерна обробка може бути проведена як для окремих поверхонь, так і для їх композицій - оболонок. Чорнова обробка може виконуватися пошарово з фрезеруванням матеріалу заготовки по еквідистантній або штриховій траєкторії руху.

Поряд з обробкою поверхні, передбачена побудова еквідистантних вибірок, каналів, формування та торцювання ребер. Траєкторії можуть будуватися з одностороннім рухом інструменту з умови попутного (чи зустрічного) фрезерування та переходом на безпечній висоті до початку наступного рядка.

Чорнова обробка може бути виконана з використанням ряду стратегій: пошарове фрезерування матеріалу заготовки з штриховою чи еквідистантною траєкторією руху інструменту (рис.6.11).



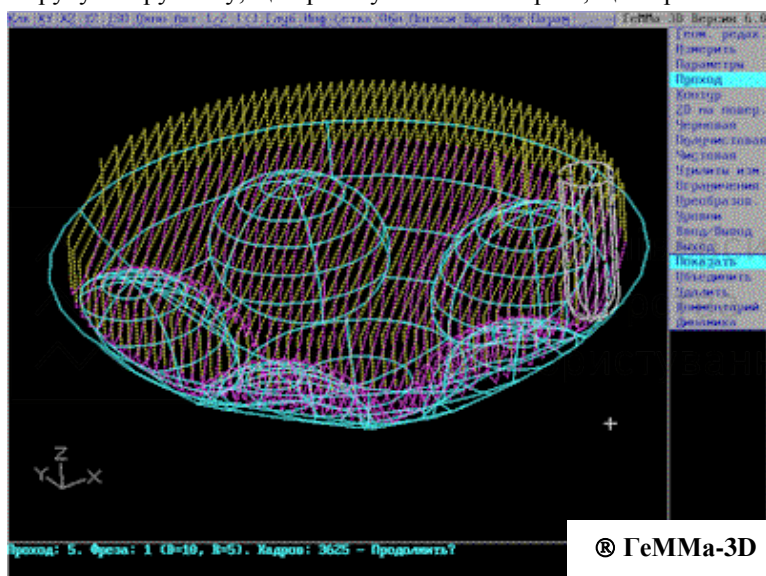
Рис.6.11. Пошарова чорнова обробка



Можливе також фрезерування при русі інструменту в паралельних площинах з фіксацією однієї з станочних координат. Даний режим (рис.6.12) раціонально використовувати при напівчистовій обробці виробів або на верстатах з обмеженими можливостями управління переміщення інструменту.

При проведенні чистової обробки можливий рух інструменту по траєкторіях типу еквідистанта, “змійка” або “петля” – з одностороннім робочим рухом, який забезпечує умови попутного (зустрічного) фрезерування та переходом на безпечній висоті до початку наступного робочого рядка.

Істотним розширенням в побудові траєкторії обробки стала можливість застосування шаблонів траєкторій – плоских кривих, які визначають траєкторію руху інструменту, що проектується на поверхні, що обробляється.



© ГеММа-3D

Рис.6.12. Напівчистова обробка пуансона в паралельних площинах

Користувач має засоби визначення висоти нерівностей між рядками обробки, задання ділянок гальмування, а також величина припуску, що знімається в одному проході. Планування пошарового знімання повного припуску здійснюється автоматично.

**6.4.2. Чотирьох - і п'яти-координатна фрезерна обробка.** В п'яти-координатній обробці в порівнянні з попередніми версіями системи ГеММа-3D істотно розширені можливості для задавання підходів інструменту до поверхні та відходів від неї, а також переміщення фрези між робочими рядками в траєкторії обробки. Можуть бути задані довжини ділянок, їхні напрямки, автоматично визначені точки підходу та відходу (на початку та в кінці робочих рядків), а також в заданих точках на поверхні чи в просторі.

Типові траєкторії руху інструменту такі ж як і для трьох-координатної обробки - еквідистанта, “петля”, “змійка”, що задається шаблоном. Додатковим видом траєкторії стала, так звана, “еквідистантна петля”, в якій перехід до нового робочого рядка виконується на безпечній відстані від поверхні, що обробляється по еквідистанті до неї. Такий режим, в частковості, необхідний при обробці міжлопаткових каналів робочих коліс відцентрових вентиляторів (рис.6.13).

Програмування чотирьох - і п'яти-координатної обробки можна виконувати в довільній системі координат. Для наступної прив'язки деталей і програми обробки до системи координат верстату введені спеціальні засоби. Для чотирьох - і п'яти-координатної обробки також можуть бути задані ділянки гальмування, величина припуску, що знімається при одному проході, висота нерівностей ("гребінців") між рядками обробки.



Рисунок 6.13. Еквідистантна петля для п'яти-координатної обробки

**6.4.3. Токарна обробка.** При програмуванні токарної обробки передбачені чорнова та чистова обробки деталей. Поряд з геометрією деталі, що обробляється та формою різця може бути задана геометрія різцетримача, а також форма різця в плані. Всі дані параметри враховуються при розрахунку траєкторії обробки.

**6.4.4. Гравіювання.** У порівнянні з попередньою версією системи ГеМ-Ма-3D має розширені можливості художнього гравіювання. В їх числі: широка гама геометрії інструменту; розширений набір художніх шрифтів; покращені засоби проектування та нанесення малюнків на виріб, що обробляється.

Для побудованих траєкторій можуть бути проведені певні перетворення. В тому числі: зміна технологічних параметрів, які автоматично виділяються при генерації програми в окремі сегменти; прив'язка підготовленої траєкторії до певної точки простору (зрушення); прив'язка до точки простору з поворотом траєкторії відносно довільної осі (зрушення та поворот); масштабування траєкторії.

**6.4.6. Введення технологічних спряжень.** Технологічні спряження будуються для уточнення зон обробки чи визначення допоміжних поверхонь, які не задаються в явному вигляді при розробці виробів. Забезпечується побудова по вказівці користувача спряжених поверхонь, спряжених поверхонь і їх меж на спряжених поверхнях, тільки меж на поверхнях. Види реалізованих в системі ГеММа-3D технологічних спряжень: спряження постійного радіуса (“куля, що котиться”); спряження зі змінним радіусом для ряду законів його зміни; результат спряження при переміщенні тора (торової фрези); при переміщенні конуса (конічної фрези); поверхня “підсічки” – спряження кривої з поверхнею, широко що використовується при побудові кромок змикання форм; поверхні ливарних ухилів.

**6.4.7. Відображення результатів обробки.** В версії 6.0 системи ГеММа-3D істотно підвищена наочність відображення підготовчих керуючих програм. Можуть бути побудовані контурні траєкторії руху інструменту відносно поверхонь; автоматично виконана розстановка інструментів в характерних точках траєкторії; реалізований рух інструменту відносно деталі, що обробляється в режимі мультиплікації зі збереженням співвідношення величини подач на ділянках траєкторії. Принципово новим стало тонове відображення обробленої поверхні (рис.6.14).

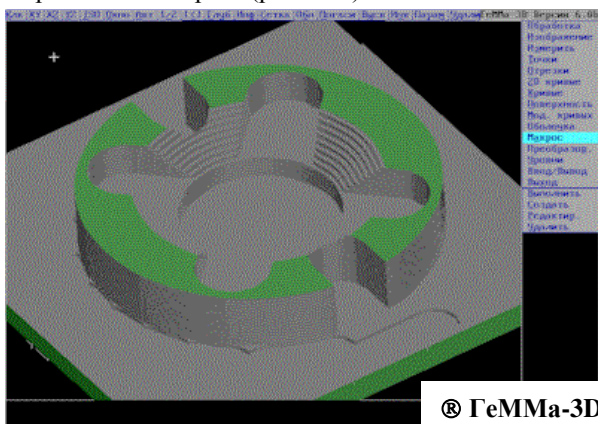


Рис.6.14. Відображення результату обробки

**6.4.8. Нові можливості ГеММа-3D версії 6.0.** Виконаний на протязі 1997 року розвиток системи ГеММа-3D завершився створенням істотно

розвиненої версії 6.0 системи. Збереглося основне тематичне направлення розробки – математичне моделювання виробів (деталі складної форми, формоутворююча технологічна оснастка, прес-форми, штампи, моделі та макети) і програмування їхньої обробки на верстатах з ЧПУ.

Завершену версію у порівнянні з попередніми характеризує повна реалізація захищеного режиму використання пам'яті (32-розрядна адресація). Істотно модернізована оперативна тонова візуалізація композицій поверхонь, а також траєкторій обробки виробів в режимі мультиплікації. Включені нові функції до складу геометричного редактора системи. В їх числі: можливість “повертання” складних кривих відносно просторових виробів, розверстка поверхонь і їхніх композицій на площину, побудова геодезичних ліній на поверхнях, задавання точок, а також ліній, що з'єднують перетин поверхонь, що визначають межі зон, які оброблюються, виробів на фрезерному верстаті або розподіл формоутворюючих елементів технологічної оснастки.

В числі нових засобів побудови поверхонь реалізовані: автоматична побудова ливарних ухилів до елементів форм, а також так званих “підсічок” – поверхонь заокруглення між кривою, що задають кромки змикання форм з базовими поверхнями матриць і пуансонів.

Важливим кроком в побудові математичної моделі стала реалізація оболонки – об'єднань групи поверхонь, аналогічних за структурою твердому тілу, реалізованому в відомих конструкторських системах.

Найбільш істотним розвитком технологічних можливостей стало введення в систему розділу токарної обробки, в якому може програмування як чернеткова, так і чистова обробка виробів. При формуванні керуючих програм геометрія різця та різцетримача враховується в процесі програмування переміщення відносно деталі, що обробляється.

Істотний розвиток отримав розділ фрезерної обробки. Він доповнений пошаровою чернетковою обробкою сукупностей поверхонь, що складають деталі, що оброблюються.

В залежності від форми та розмірів інструменту автоматично розраховуються ділянки траєкторії відносно деталі, що забезпечують її бездефектну обробку.

При напівчистовій обробці також автоматично будується траєкторія руху відносно сукупності поверхонь інструментом з заданою геометрією.

Істотно розширені можливості використання системи та її базових процедур на основі введеної макромови користувача.

Принципово новим стало введення розділу обробки вимірів складних поверхонь, виконаних на контрольно-вимірювальних машинах.

Розглянемо послідовно дані функціональні можливості:

#### **А. Взаємодія з зовнішніми системами**

Основна інформація сприймається в систему GeMMA-3D і передається з неї в відомі CAD/CAM системи за форматами IGES і DXF. Поява у вхідній

інформації геометричних об'єктів, що мають математичний опис, який відрізняється від того, що використовується в системі ГеММа-3D, вирішується на основі типової апроксимації з заданою точністю кривою та поверхнями Без'є (рис.6.15).

### **Б. Відображення геометричних об'єктів**

До складу системи включений модуль тонової візуалізації композицій поверхонь. В його основу покладена бібліотека процедур комплексу “Китеж” (розробка Нижньогородського Державного університету). Тонове відображення може бути викликане при виконанні будь-яких операцій над поверхнями. Забезпечується побудова монохромних або кольорових зображень в залежності від можливостей технічних приладів, що використовуються. Для управління характеристиками зображення можуть задаватися коефіцієнти дисперсії, відображення від поверхні та її шорсткість, число, положення та інтенсивність джерел світла. Зображення компоновки літака АН-140 (рис. 6.16) ілюструє деякі можливості подання геометричної інформації в системі ГеММа-3D. Час побудови даного зображення без застосування технічних засобів прискорення графіки склав 15 с.

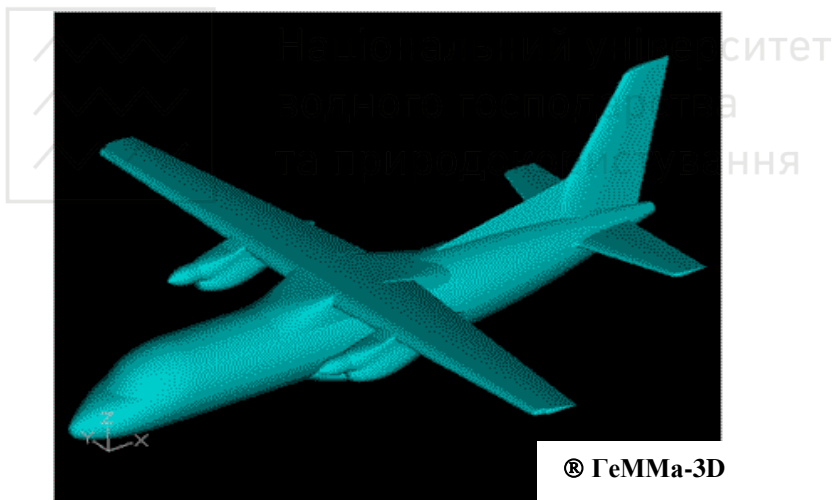


Рис.6.15. Можливості подання геометричної інформації в системі ГеММа-3D

### **В. Нанесення кривої на поверхні, розгортки кривої та поверхонь**

Поряд з традиційним проєціюванням, яке використовується в системі ГеММа- 3D плоских кривої на поверхні додана можливість їхньої “навертання”, починаючи від певного полюсу в заданому напрямку. При навертанні на складну поверхню можливі два способи – зі збереженням довжин кривих, які навертаються чи відносної топології креслення, що забезпечується частковою зміною (розтяг-стиснення) ділянок кривої у відпо-

відності з формою поверхні. Дані способи використовуються для нанесення візерунків на вироби та форми для наступного гравіювання (рис.6.16).

Для розскроювання листових матеріалів, які використовуються при виготовленні різноманітних виробів, реалізована зворотна процедура – розвертка ліній, завданих на поверхні, а також самих поверхонь з лініями розрізу. Поверхні, що не розвертаються самі, розгортаються з частковою фіксованою деформацією.

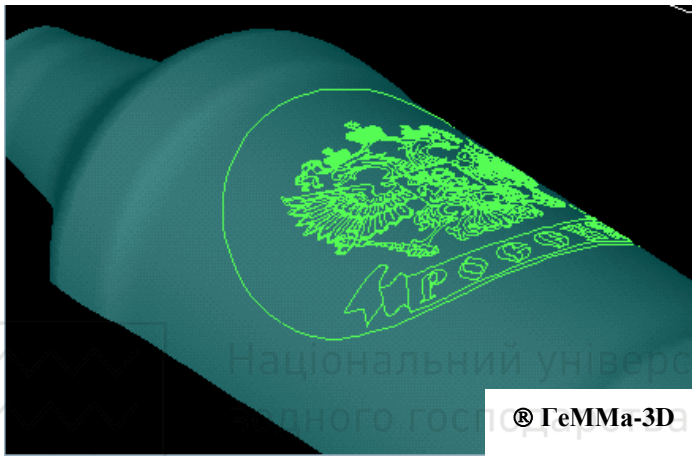


Рис.6.16. Накладення рисунка на поверхню

### Г. Побудова оболонок

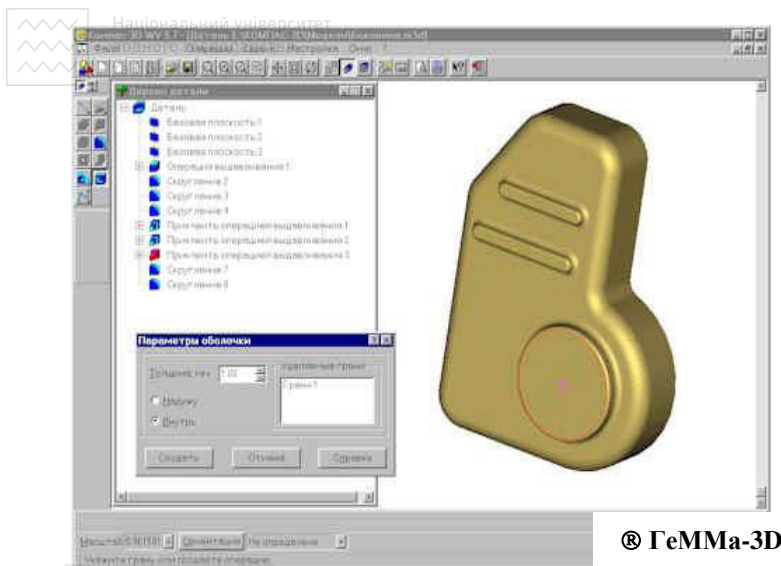
Під оболонкою розуміється композиція поверхонь, об'єднаних геометрично (у всіх включених поверхонь створюється поняття зовнішньої та внутрішньої сторони), а також інформаційно.

Над оболонкою допустиме виконання всіх геометричних операцій, передбачених для окремих поверхонь. Допускається включення в оболонку поверхонь, які знаходяться на віддалі одна від одної, тобто з розривами чи з межами, що не стикаються. Таке рішення істотно розширює можливості та ефективність технологічних операцій. Приклад оболонки (фрагмент матриці ливарної форми) приведений на рисунку 6.17.

### Д. Поверхні спряження, підсічки, ливарні ухили

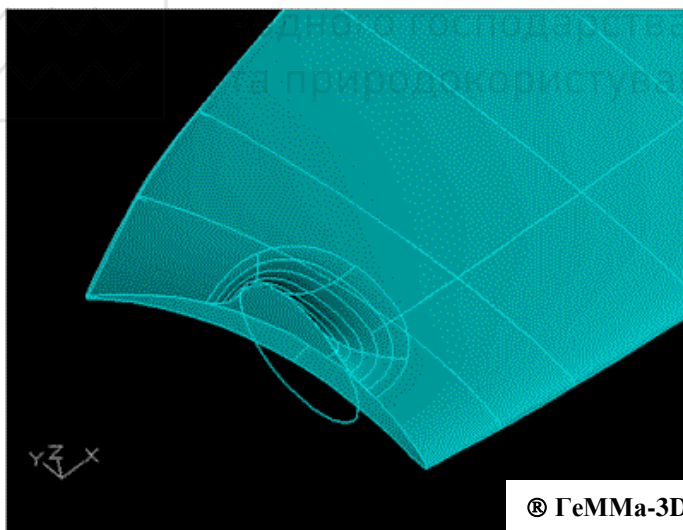
Приклад усіченого спряження – ступиці і пера моделі лопатки вентилятора – показаний на рисунку 6.18. Його особливістю є те, що радіус поверхні, що спрягається більше відстані від пера лопаті до контуру основи ступиці. Побудова подібних поверхонь спряження найбільш часто необхідна при оформленні кромки змикання ливарних форм і прес-форм.





® ГеММА-3Д

Рис.6.17. Фрагмент матриці ливарної форми



® ГеММА-3Д

Рис.6.18. Приклад усіченого спряження

Побудова ливарних ухилів є новою можливістю геометричного модуля в системі ГеММА-3Д. На рисунку 6.19 показана модель декоративного вкладиша, що виробляється з пластмаси. Базова поверхня – узагальнений циліндр з верхнім фасонним закінченням. Для введення ливарних ухилів



достатньо визначити величину ухилу та вказати поверхню закінчення. Циліндрична частина буде змінена за рахунок введення ухилів автоматично.

Іншою можливістю може бути введення основи деталі з автоматичною припасовкою її до фасонного закінчення з заданим ухилом. Відповідна лінія на закінченні буде розрахована автоматично.

**Е. Чернеткова пошарова обробка.** При виготовленні виробів, що вимагають глибокого фрезерування, ефективно застосовується пошарова фрезерна обробка. Для її проведення визначається оболонка (сукупність поверхонь), що описує геометрію виробу. Встановлюється крок пошарової обробки, геометрія інструменту. Описується заготовка. Визначається стратегія пошарового фрезерування – еквідистантна чи штрихова. Автоматично здійснюється перетин моделі виробу та заготовки, формується траєкторія обробки для кожного з шарів і перехід між шарами.

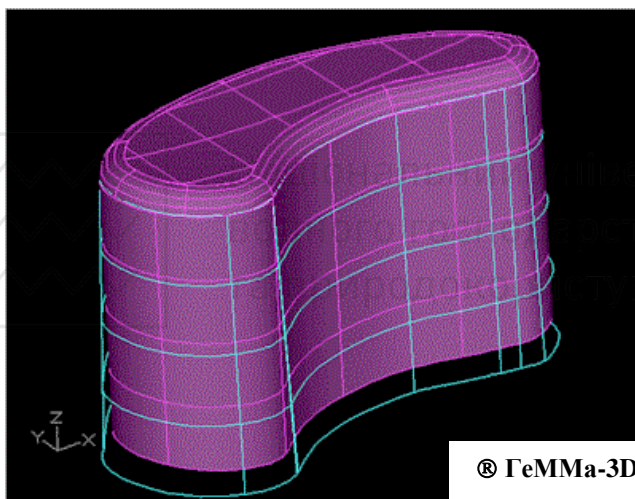


Рис.6.19. Побудова ливарного ухилу



## **7. СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОЇ ПІДГОТОВКИ КЕРУЮЧИХ ПРОГРАМ ДЛЯ 3/4-КООРДИНАТНОЇ ФРЕЗЕРНОЇ ОБРОБКИ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПУ *POWERMILL 2***

### **7.1. Короткий опис пакета**

PowerMILL 2 - могутня автономна система автоматичної підготовки керуючих програм для 3/4 координатної фрезерної обробки на будь-якому верстаті з ЧПУ виробів, спроектованих у будь-якій CAD-системі [8].

PowerMILL працює на персональному комп'ютері під керуванням операційної системи Windows NT чи Windows 95 (рис.7.1). Система розроблена фірмою DELCAM (Великобританія) на базі модулів DUCTnc і Advanced DUCTnc системи DUCT5 спеціально для тих підприємств, що спеціалізуються на випуску продукції зі складними формотворними поверхнями, однак використовують при цьому CAD/CAM системи з обмеженими можливостями механообробки.

Спочатку цей пакет працював тільки в середовищі Solaris 2.\*, але як тільки ОС Windows стала підтримувати графічну бібліотеку OpenGL, з'явилася можливість його переносу й на цю більш поширену платформу. Ця можливість була блискуче реалізована розроблювачами та програмістами фірми DELCAM у 1995 році, про що свідчить присудження пакету PowerMILL for Windows NT золотої медалі найбільшого світового огляду CAD/CAM- технологій Autofact'95 у США, як кращій розробці року в області систем механообробки.

Геометрична модель виробу для обробки в PowerMILL може бути підготовлена в будь-якій системі тривимірного моделювання, що підтримує стандарти STL, VDA чи IGES. З ряду найбільш популярних систем моделювання (DUCT5, CADD5, CATIA тощо) геометричні моделі можуть передаватися через прямі інтерфейси. Крім того, остання версія PowerMILL має прямий ACIS-інтерфейс, що забезпечує сумісність з багатьма іншими Windows-додатками. І, нарешті, підтримка стандарту OLE4DM (OLE for Design and Modelling Applications) дала змогу налагодити обмін геометричними моделями між системами тривимірного моделювання, аналізу й обробки.

Робота в PowerMILL проста й інтуїтивна. На розташовану у верхній частині екрана панель винесено 25 кнопок-піктограм, порядок проходження яких зліва направо відображає послідовність дій технолога при розрахунку керуючої програми: від завантаження геометричної моделі оброблюваного виробу до візуалізації процесу обробки за отриманою керуючою програмою на екрані комп'ютера. Користувачу залишається лише послідовно заповнити екранні форми, що з'являються після натискання відповідної кнопки-піктограми, (вибір моделі, заготовки, інструменту тощо), щоб одержати траєкторію інструменту.

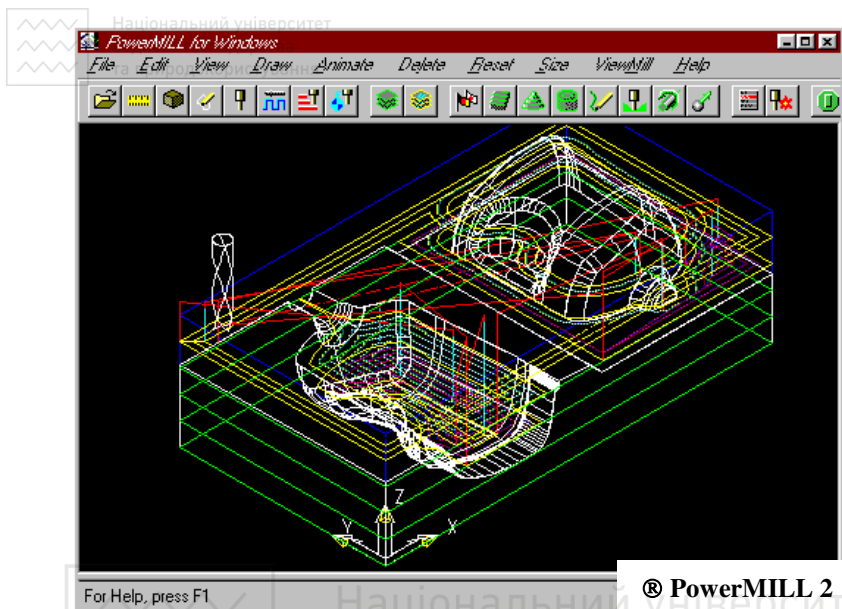


Рис.7.1. Робоче вікно системи *PowerMILL 2*

Ефективні алгоритми розрахунку дозволяють швидко проаналізувати різні стратегії як чорнової, так і чистової обробки виробу, вибрати оптимальну технологію, візуалізувати весь процес обробки на екрані, переконатися у відсутності зарізвань і зіткнень цанги з заготовкою, і тільки після цього приступати до реальної обробки виробу на верстаті. Це дозволяє домогтися значної економії верстатного часу та скоротити витрати дорогих матеріалів.

Можливості запису макрокоманд при роботі, редагування отриманих траєкторій руху інструмента, обмеження областей обробки по обраній стратегії дозволяють значно заощаджувати машинний час при програмуванні обробки однотипних виробів, виробів з повторюваними чи симетричними фрагментами.

Значно підвищують ефективність роботи технолога-програміста такі можливості пакета як автоматичне зачищення кутів і доробка недопрацьованих областей інструментом меншого радіуса, вибір стратегії обробки кишень, зшивання окремих фрагментів траєкторій у єдину траєкторію руху інструмента.

В системі PowerMILL підтримуються наступні інструменти: торцева фреза, торцева фреза з округленими краями, кульова фреза, конічна фреза, конічна фреза зі сферичним кінцем, торцева фреза зі зміщеними краями.

#### **А. Стратегії чорнової обробки в PowerMill:**

- обробка за растром і профілем;



- автоматичне обчислення оптимального кута растра для зони, шару, чи кишені всієї моделі;
- задання довільного кута растра;
- додатковий обхід за профілем до, під час чи після растрової обробки;
- попутне чи зустрічне фрезерування;
- можливість підведення інструменту з зовнішньої сторони заготовки;
- виборка кишень;
- можливість задання висоти підйому інструменту при переході від одного рядка растра до іншого;
- підрізання при переході на наступний рівень;
- автоматична генерація траєкторії для попереднього свердління отворів;
- профілювання країв заготовки;
- видалення зайвих переміщень;
- підсвічування переміщень, що видаляють матеріал.

#### **Б. Стратегії чистової обробки в PowerMill:**

- обробка по спіралі;
- радіальна обробка;
- обробка за растром під будь-яким кутом;
- доробка окремих областей (видалення матеріалу, що залишився після чистової обробки, фрезою меншого радіуса);
- обробка шарами по Z (по ватерлініях);
- фрезерування пологих ділянок.

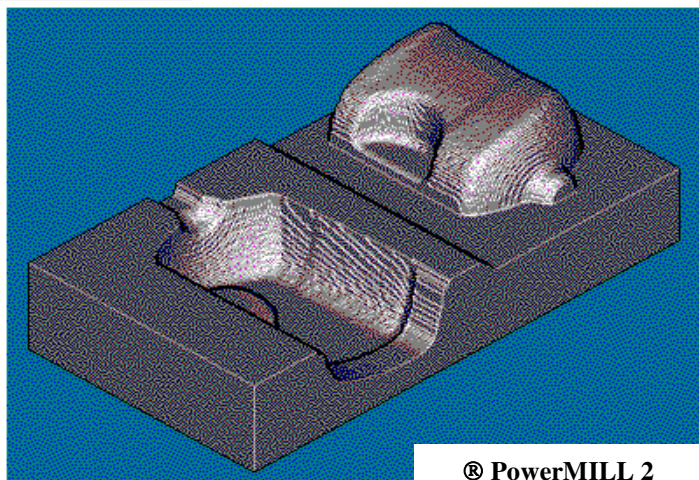


Рис.7.2. Чистова обробка в системі *PowerMill*



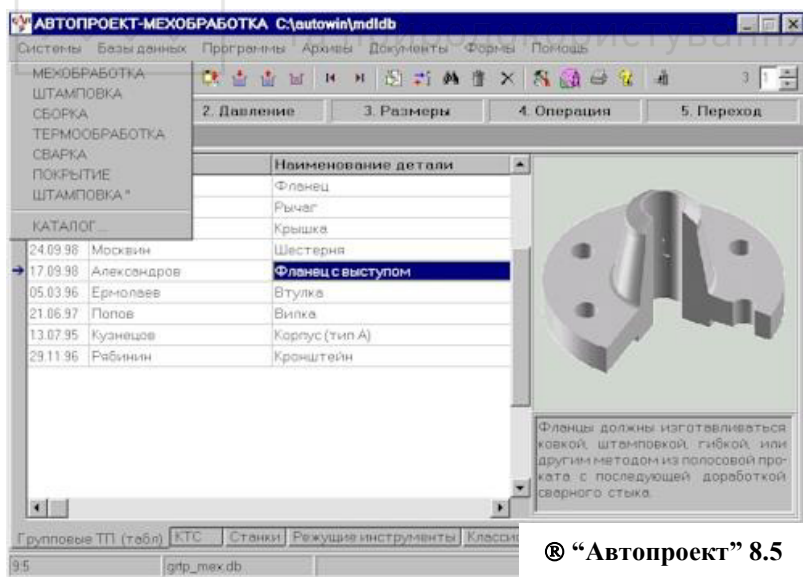
# СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

## 8. СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

### *АВТОПРОЕКТ" 8.1* для Windows 95/98/NT

**8.1. Загальні відомості про систему "Автопроект" 8.1.** Система призначена для автоматизованого проектування технологічних процесів, що дозволяє підвищити продуктивність праці технолога, скоротити терміни та трудомісткість технологічного підготування виробництва. До складу інтегрованого програмного комплексу входять підсистеми проектування технологій: механообробки, штампування, складання, зварювання, термообробки, покриття, нормування трудомісткості технологічних операцій, розрахунку норм витрати матеріалів, процедури аналізу технологічних процесів, що дозволяють розраховувати сумарну трудомісткість виготовлення деталей і вузлів, визначати матеріалоемність і собівартість виробу (рис.8.1).

Починаючи з версії 8.0, "Автопроект" інтегрований з системою "КОМПАС-ГРАФИК 5.x" (рис.8.2) [23-25].



® "Автопроект" 8.5

Рис.8.1. Вікно інтегрованого програмного комплексу "Автопроект" 8.5

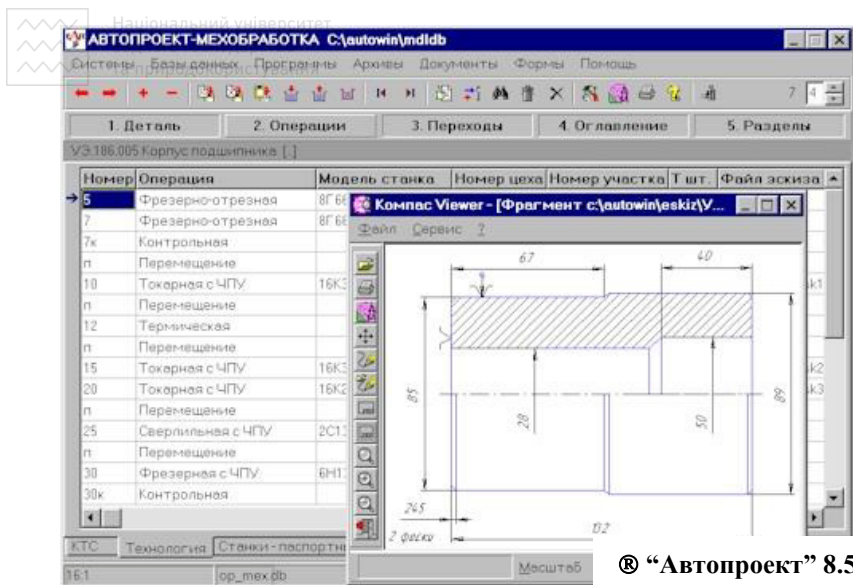


Рис.8.2. Система “Автопроект” інтегрована з графічним пакетом “Компас-Графік”

До складу комплексу документації, що розробляється в системі "Автопроект" 8.1. входять: маршрутні, маршрутно-операційні, операційна карти, карта технологічного процесу, відомість оснастки та матеріалів, карта ескізів, операційна карта з ескізами, карта технічного контролю й інші документи, що відповідають вимогам ГОСТу. В зразки карт користувачі можуть вносити зміни.

Інформація про конструкторсько-технологічні специфікації (КТС) в САПР розподілена за рівнями: “Вироби” – “Вузли” – “Деталі”. Система забезпечує вільне переміщення від одного рівня до іншого, дозволяючи при цьому переглядати та редагувати склад виробів, вузлів і деталей. Зв'язок між рівнями провадиться за номером креслення. Інформація на кожному рівні доступна для коригування, копіювання, перестановки, видалення і вставки нових записів.

Інформація про складальні одиниці та вироби зосереджена в таблиці “Вузли”. Кожному запису даної таблиці відповідає поле, що визначає рівень складності даного вузла.

У системі реалізований доступ до графічної інформації: ескізи і креслення деталей, складальних одиниць, інструментів тощо, виконані в системі “КОМАС” Підтримується супровід конструкторської бази даних: збереження, швидкий перегляд, пошук креслень - прототипів за різноманітними конструктивними ознаками.

Інформація про ескізи на кожну технологічну операцію зберігається



безпосередньо в технологічному процесі. При формуванні карт ескізів по ГОСТ 6. 1105-84 форма 7 і операційних карт з ескізами ГОСТ 6. 1404-86 використовується спеціальний редактор документів, що дозволяє об'єднати текстову та графічну частину технологічного процесу. Включення ескізів, підготовлених системою "КОМПАС", у текстовий документ може бути зроблено як у діалоговому, так і в автоматичному режимі.

В основу роботи "Автопроект" закладений принцип запозичення раніше прийнятих технологічних рішень. У процесі експлуатації системи накопичуються: типові, групові, одиничні технології, уніфіковані операції, плани обробки конструктивних елементів і поверхонь. При формуванні поточної технології користувачу наданий зручний доступ до відповідних архівів і бібліотек, що зберігають накопичені рішення.

Розробка технологічних процесів (ТП) здійснюється в наступних режимах:

- проектування на основі технологічного процесу-аналога – автоматичний вибір відповідної технології з архіву з наступною доробкою в діалозі;
- формування ТП з окремих блоків, що зберігаються в бібліотеці типових технологічних операцій і переходів;
- об'єднання окремих операцій архівних технологій;
- автоматична доробка типової технології на основі даних, переданих з параметризованого креслення "КОМПАС-ГРАФІК";
- введення інформації про ТП у діалоговому режимі за допомогою спеціальних процедур доступу до довідкових баз даних;

У системі реалізована процедура, що дозволяє проектувати наскрізні технології, що включають одночасно операції механообробки, штампування, термообробки, покриття, зборки, зварювання.

В "Автопроект" існує два варіанти формування технологічних карт. Перший, швидкий, спрощений формат документів. Другий, якісний, багатошрифтовий формат, реалізований у середовищі MS Excel 97. У зразки карт, розроблені відповідно до ГОСТ, можна вносити зміни. Крім чисто текстових документів система дозволяє автоматично сформувати карти ескізів, що включають графічну інформацію, виконану в системі "КОМПАС-ГРАФІК" 5.x.

Технологічні процеси, розроблені в "Автопроект", поміщаються в архів системи в стиснутому виді (zip-формат). Упакована технологія середньої складності займає 5 Кб. Зміст такого архіву доступний для ручного перегляду та коректування. Автоматичний пошук ТП в архіві виробляється або за кодом геометричної форми деталі, або за окремими характеристиками: тип деталі, належність до виробу, вид заготовки, габаритні розміри тощо. За заданими критеріями пошуку система підбирає ТП, залишаючи остаточний вибір за технологом.

Змістом архіву розроблених технологічних процесів служить база даних





конструкторсько-технологічних специфікацій (КТС - ланцюг рівнів: “Виріб” – “Вузол” – “Деталь”). Система забезпечує вільне переміщення від одного рівня до іншого, дозволяючи при цьому переглядати та редагувати склад виробів, вузлів і деталей. Кожен рівень має підлеглу таблицю “Документи”, запису якої містять посилання на документи, створені в різних додатках: графічні, текстові файли, архівні технологій тощо. Вибір технологічного процесу здійснюється процедурою розархівзації, за допомогою якої ТП витягається з архіву та поміщається в робоче поле “Автопроект”, доступне для внесення змін. Інформація про поточний технологічний процес розподіляється за рівнями “Деталь” – “Операція” – “Перехід”. Користувачу надана можливість переміщатися по рівнях, відслідковувати склад переходів по кожній технологічній операції, вносити необхідне коректування. При цьому ТП, що знаходиться в архіві, не міняється. Модифікована технологія може бути поміщена назад в архів під колишнім чи під новим ім'ям.

Процедури обробки КТС дозволяють робити вибірки деталей за належністю до виробів, складальних одиниць, цехів виготовлення тощо. На їхній основі формуються зведені норми, заявки на матеріали, що входять до комплектів карт та інших технологічних документів.

Реалізовано процедури, що дозволяють глобально коректувати будь-яку інформацію в архіві технологічних процесів (наприклад, заміна застарілих ГОСТ оснащення), розраховувати сумарну трудомісткість виготовлення деталей і складальних одиниць, визначати матеріалоємність та собівартість виробу в цілому.

Кожна предметна область має свою специфіку організації баз даних. Багаторічний досвід роботи як у теоретичної, так і, насамперед, у практичній області дозволив виявити та систематизувати основні моделі даних, властиві технологічній підготовці виробництва машинобудівних підприємств. В основі системи лежить величезний обсяг різномірної інформації. Базовий комплект “Автопроект” включає більше 700 інформаційних масивів. Кількість нових баз даних (БД), що підключаються, не обмежене.

У САПР “Автопроект” реалізований механізм, що дозволяє відобразити структуру виробу, деталі, взаємозв'язки між устаткуванням, технологічним оснащенням і методами обробки. Модель технологічного процесу в САПР ТП займає центральне місце. У “Автопроект” - це трьохрівневий ланцюжок взаємопов'язаних реляційних таблиць, записи яких мають різну логічну структуру (див. рис.8.3). Така модель є універсальною і такою, що здатна до розширення. Вона дозволяє створювати різноманітні технології та включати в них будь-які засоби технологічного оснащення, в тому числі і принципово нові.

Вся інформація про поточний технологічний процес розподілена за рівнями “Деталь” – “Операція” – “Перехід”. Користувачу надана можливість переміщатися по рівнях, відслідковувати склад переходів кожної технологічної операції, вносити необхідні зміни на кожному з рівнів. Особливістю

цієї моделі є наочна форма представлення інформації. Записи таблиці “Переходи”, що містять тексти переходів, різальні інструменти, пристосування, режими різання, виводяться на екран одним списком. Така можливість досягається тим, що фізичні записи даного рівня мають різну логічну структуру. Цей же механізм дозволяє проектувати технології, що включають одночасно операції механообробки, штампування, термообробки, покриття тощо. Підключення нового технологічного переділу виконується самим користувачем.

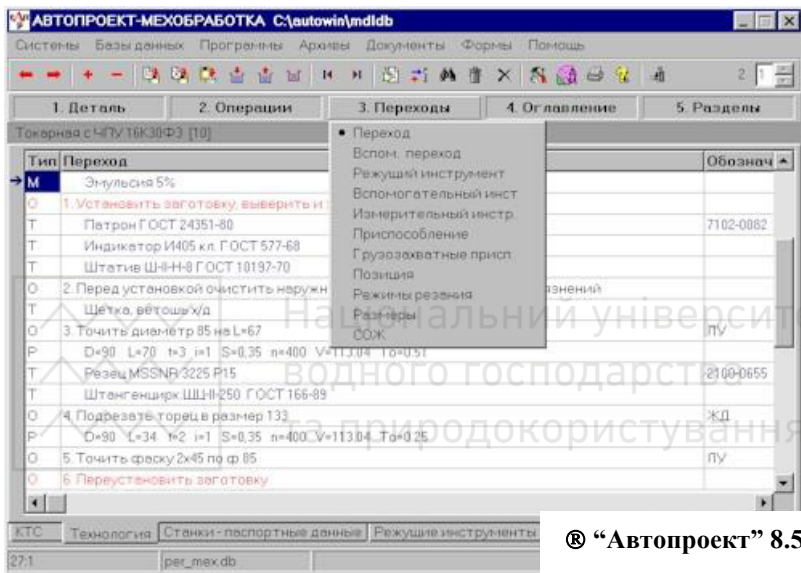


Рис.8.3. Записи таблиці “Переходи”

В комплект документації входять: титульний лист, карта ескізів, маршрутна, маршрутно-операційна, операційна карти, карта технологічного процесу, відомість оснащення, матеріалів і інші документи, що відповідають ДСТ. В зразки карт користувачі можуть вносити зміни. Існує два варіанти формування технологічних карт. Перший, швидкий варіант, дозволяє одержати спрощений формат документів. Другий, якісний - багатошрифтовий формат, реалізований у середовищі MS Excel на основі технології OLE (рис.8.4). Крім чисто текстових документів система дозволяє автоматично сформувати карти ескізів, що включають графічну інформацію, виконану в системі “Компас-Графік” 5.x (рис.8.5).

[illegible]

® “Автопроект” 8.5

144

Технологічні процеси, що розроблюються в САПР “Автопроект”, можуть розмішуватися в архіві технологій. Змістом архіву розроблених технологічних процесів служить база даних конструкторсько-технологічних специфікацій (КТС - ланцюжок рівнів: “Виріб” – “Вузол” – “Деталь”) (рис.8.6). Система забезпечує вільне переміщення від одного рівня до іншого, дозволяючи при цьому переглядати і редагувати склад виробів, вузлів і деталей. Процедури обробки КТС роблять можливим пошук деталей за різними критеріями та здійснюють вибірки за належністю деталей до виробів, вузлів, цехів. На їхній основі формуються зведені норми, заявки на матеріал, що комплектують карти й інші технологічні документи.

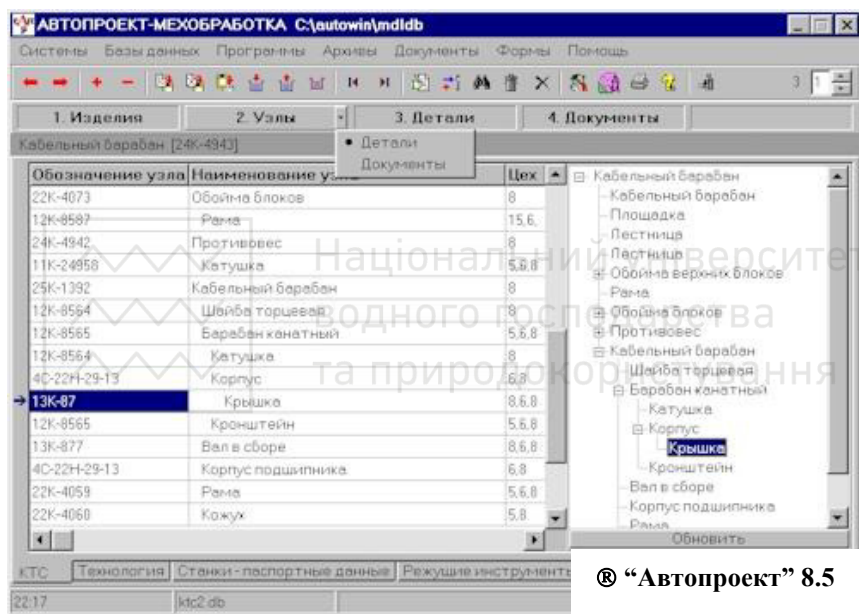
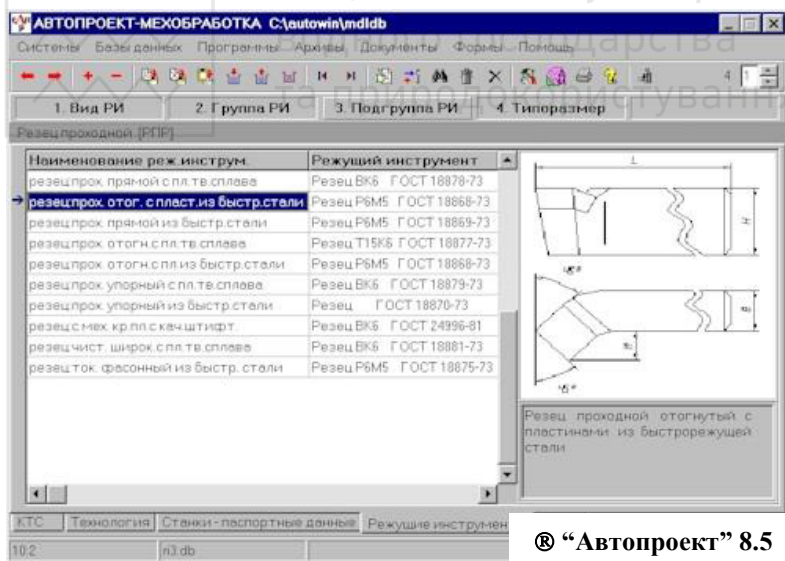


Рис.8.6. База даних конструкторсько-технологічних специфікацій

Система підтримує функції документообігу. Кожен рівень, що входить у ланцюжок КТС, має підлеглу таблицю “Документи”, записи якої містять посилання на документи, створені в різних додатках: архівні технології, графічні файли, текстові файли тощо. З кожним документом пов'язана програма, що його створює й обробляє. Старт відповідного додатка виробляється безпосередньо з таблиці “Документи”. Вибір ТП здійснюється процедурою розархівування, що поміщає технологію в робоче поле системи, доступне для внесення змін. При цьому ТП, що знаходиться в архіві, не змінюється. Модифікована технологія може бути поміщена назад в архів системи під колишнім чи під новим ім'ям.

дозволяє глобально коректувати будь-яку інформацію в архіві технологічних процесів: аналізувати технології на предмет завантаженості устаткування, визначати кількість спеціалізованого оснащення, розраховувати сумарну трудомісткість виготовлення виробів, визначати матеріалоємність і собівартість виробу в цілому, робити глобальну автоматичну заміну застарілих ДСТ оснащення.

Система забезпечує зручну організацію баз даних (БД) (рис.8.7) і швидкий доступ до необхідної інформації. Вона має добре організований діалоговий інтерфейс, що забезпечує легке й наочне переміщення по всіх базах даних. Прийоми роботи з БД ідентичні, що спрощує процес їхнього супроводу. Програма підтримує діалоговий доступ до зведень про устаткування, інструменти, матеріали тощо. В будь-який момент ці дані можуть бути виведені на екран, скореговані чи поповнені. В інформаційному просторі “Автопроект” можна створювати нові інформаційні масиви, коректувати склад і розмірність їхніх полів. Взаємодія між таблицями даних у “Автопроект” побудована на динамічно формованих SQL-запитах. Оператори SQL генеруються чи автоматично системою, чи за шаблоном, заданим користувачем.



® “Автопроект” 8.5

Рис.8.7. База даних “Різальні інструменти”

Бази даних САПР “Автопроект” цілком відкриті для структурного і змістовного коректування. Підтримуються формати файлів СУБД Paradox, FoxPro, dBase (для локальних робочих місць). Наявні в користувача файли

цих форматів легко включаються в базу даних “Автопроект” без зміни їхнього місця розташування на диску чи в мережі. Дані можуть розташовуватися як на локальних станціях, так і на сервері.

Однією з основних переваг “Автопроект” є можливість модернізації системи без участі розроблювача. Коректується склад і структура всіх баз даних, надбудовуються форми технологічних документів, підключаються нові програмні модулі. Гнучкість програмного й інформаційного забезпечення дозволяє швидко адаптувати систему до будь-яких виробничих умов.

САПР “Автопроект” складається з ядра системи й оточення прикладних задач. Основні функціональні режими системи можна розбити на дві групи: функції підсистеми проектування і функції підсистеми керування базами даних (СУБД).

#### **Функції підсистеми проектування:**

- ведення конструкторсько-технологічних специфікацій;
- організація документообігу (функції менеджера проекту);
- автоматизоване проектування технологічних процесів;
- можливість розробки наскрізного ТП;
- каталогізація розроблених ТП в архіві технологій;
- інтеграція з "КОМПАС-ГРАФІК" 5.x;
- оперативний перегляд графіки: креслення деталей, інструментів, ескізи операцій тощо;
- автоматичне формування комплекту технологічної документації;
- можливість перегляду, редагування і роздруковування вихідних форм;
- можливість налаштовування зразків технологічних документів;
- автоматизоване формування коду деталі у відповідності ЄСКД і ТКД;
- автоматичний пошук технологій за кодом чи текстовим описом деталі;
- архівація поточного комплекту технологічних документів в архіві карт;
- архівація поточного складу специфікацій в архіві виробів.
- розрахункові процедури;
- оперативна екранна підказка в ході роботи системи.

#### **Функції СУБД:**

- можливість налаштовування вмісту блоків основного меню системи;
- можливість підключення нових інформаційних масивів (файлів. db i. dbf);
- можливість звертання до БД, розташованих поза кореневим каталогом системи;
- можливість підключення до системи нових програм, розроблених користувачем;
- вмонтований генератор звітів;



- налаштування параметрів системи за допомогою файлу конфігурації (.ini);

- організація ієрархічно-реляційного зв'язку інформаційних масивів;
- можливість підключення до будь-якого поля даних довідкового масиву;
- можливість структурної модифікації будь-яких БД;
- багаторядковий режим доступу одночасно до декількох баз даних;
- відображення даних: текст-графіка, текст-структура, текст-примітка;
- процедура пошуку за критеріями в будь-якій базі даних;
- експорт даних з будь-якої БД у текстовий чи формат у формат файлів Excel;
- блокування від несанкціонованого доступу до захищеної бази даних;
- можливість встановлення захисту даних від змін;
- копіювання, видалення записів по одному та блоками;
- перегляд і друк вмісту набору даних.

**Мінімальні вимоги до устаткування:** IBM PC 486DX2-66, 16 Mb RAM, операційна система - Windows 95/98, не менш 120 Mb вільного місця на жорсткому диску, пристрій CD ROM, струминний чи лазерний принтер.







### 9.1. Система документообігу підприємства DOCS Open

Проблема документообігу виникає на підприємстві одночасно з встановленням першого комп'ютера. Але усвідомлюється вона та виявляється в повну силу, як правило, лише після того, як кількість розроблених документів перевищує деяку межу, скажімо, п'ятсот, а в процесі їхнього виробництва й обробки використовується вже не один, а декілька комп'ютерів. У чому ж полягає дана проблема [26-28].

Програмні пакети працюють з документами в електронному виді. Кожен документ, звичайно, являє собою окремий файл. Іноді до нього додаються ще кілька файлів описів, специфікацій, повідомлень тощо. Над документами працюють, як правило, одночасно декілька людей. Все це породжує лавиноподібний наростаючий потік файлів, що переміщуються по комп'ютерах, дисках, каталогах, контроль над якими дуже легко втратити і практично неможливо відновити.

Вирішити всі ці проблеми можна тільки впровадженням додаткового програмного забезпечення, що візьме на собі функції керування потоком файлів і надасть можливості персоналу швидко одержувати необхідні для роботи документи, не відволікаючи на копання в нетрях файлової системи комп'ютерів. Програмне забезпечення призначене для автоматизації процесів виконання всіх цих функцій, і називається системою керування документообігом.

Для побудови системи електронного документообігу рівня підприємства АТ "Аскон" пропонує використовувати пакет *DOCS Open* американської фірми PC DOCS Inc (рис.9.1). На заході цей пакет широко відомий і займає від 20% до 30% ринку систем документообігу, що є дуже великою цифрою. Що ж обумовило таку популярність пакета *DOCS Open*?

Продукт має сучасну архітектуру клієнт-сервер, що дозволяє ефективно та надійно об'єднати у високопродуктивну систему безліч робочих місць. Пакет має відмінної масштабованість, тобто з ростом обсягів оброблюваної інформації та при збільшенні кількості робочих місць не виникне проблем з перевантаженням сервера, тому що система здатна підтримувати безліч серверів, виступаючи в ролі розподіленого сховища інформації. Обмеження по обсязі збереження інформації відсутні.

Система русифікована, підтримує пошук і індексацію документів з використанням російських букв. При роботі із системою користувач ізолюється від роботи з файлами та директоріями. Для кожного документа в *DOCS Open* створюється картка з набором полів (назва, автор, тощо). Поля карток можуть добудовуватися для відображення специфіки документів і процесів документообігу підприємства.

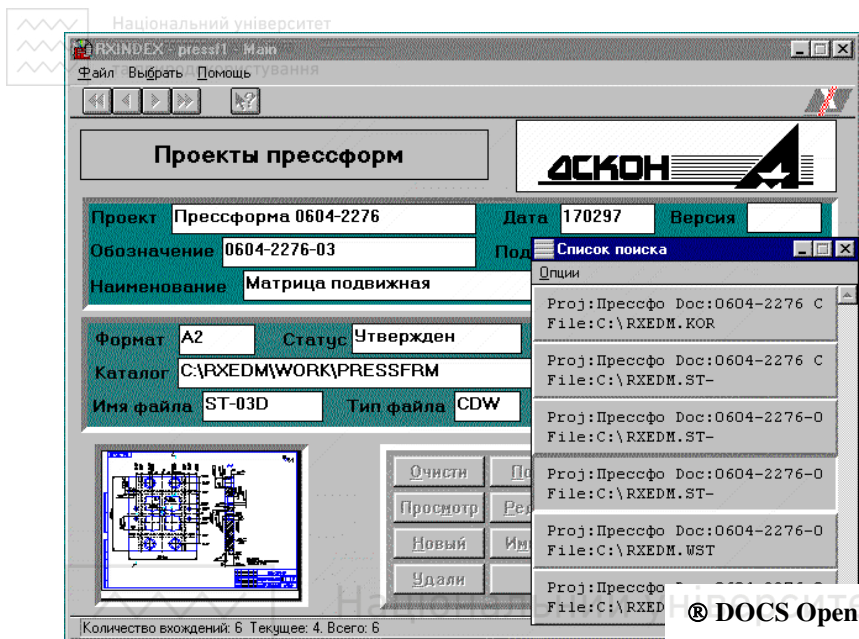


Рис.9.1. Приклад роботи з системою документообігу підприємства DOCS Open

DOCS Open підтримує версії і підверсії документів. Можливе збереження до 99-ти версій документу і до 26-ти підверсій для кожної версії. У системі такий документ виглядає як один об'єкт, але користувач може вибрати, над якою чи версією подверсією буде зроблена операція, та створити нову версію (підверсію).

Система має могутні пошукові можливості. Користувач може швидко здійснити добірку документів за заданими критеріями й, при необхідності, зберегти цю добірку для наступного використання. Повнотекстовий індекс дозволяє шукати документи за словами, що містяться в них.

У DOCS Open вмонтовані гнучкі можливості по інтеграції з будь-якими програмними пакетами. Підключені до системи програми викликаються прямо з DOCS Open і працюють з документами, що містяться в базі даних. Вмонтований перегляд документів дозволяє швидко орієнтуватися в їхньому змісті.

Можливе розширення можливостей пакета DOCS Open підключенням різних додаткових модулів, розроблених третіми фірмами. Існує, наприклад, модуль для створення додаткових зв'язків між документами (родинних, вихідних, вхідних тощо). Багато проблем при роботі над замовленням можна зняти використовуючи додатковий модуль маршрутизації та контролю робіт, що дозволяє визначати послідовності, відповідно до яких над документами буде працювати персонал, а також контролювати терміни

і результати виконання робіт. У міру необхідності можна придбати інші додаткові модулі, призначені для рішення різноманітних задач. Таким чином, DOCS Open не фіксований за функціональними можливостями пакет, а система, що пристосовується легко під різні недоліки. Можлива інтеграція з системами введення паперових документів, в яких виконуються операції сканування, обробки, розпізнавання, векторизації, анотування.

В системі надана можливість отримання повної історії життя документа - хто і коли створив, хто і коли коректував, переглядав, копіював тощо.

DOCS Open дозволяє розмежовувати доступ до документів і проєктів. Для кожного користувача в системі зберігається інформація, чи може він коректувати визначені документи, або тільки переглядати. До якихось документів користувач може взагалі не мати доступу. У такий спосіб документи надійно захищаються від випадкового (чи навмисного) некоректного звертання.

Централізоване збереження документів і інформаційної бази (картки) на сервері дозволяє легко робити резервне копіювання, профілактичне обслуговування та захист життєво важливих документів підприємства. Це знижує ризик втрати інформації через вихід з ладу якої-небудь локальної машини.

DOCS Open має вмонтовані гнучкі можливості налаштування способів відображення документів для більш зручної роботи з ними.

Таким чином, DOCS Open являє собою інтегроване середовище, що дозволяє вести ефективну роботу з базою даних, що містить тисячі, десятки і навіть сотні тисяч різноманітних документів.

Сьогодні, при масовому впровадженні обчислювальної техніки на підприємствах, ефективність функціонування організації визначається не стільки потужністю окремих встановлених програмних пакетів, але, в основному, тим, наскільки ефективно робочі місця можуть взаємодіяти один з одним [26].

Одним з факторів, які дозволяють значно збільшити віддачу від використання комп'ютерів є можливість "направляти" електронні документи за заздалегідь визначеними маршрутами, заданими відповідно до логіки функціонування підприємства. Це значно заощаджує час персоналу, тому що працівники одержують завдання разом з пакетом документів, над якими необхідно зробити визначені дії. При цьому ніхто не бігає з дискетами і не копіює по мережі чи десятки сотні кілобайт інформації, усно пояснюючи колезі, що з даними файлами необхідно зробити і куди їх відправити далі.

Розглянемо логіку роботи модуля маршрутизації. При створенні нової роботи ініціатор задає її назву, терміни початку та закінчення, постачає завдання необхідними коментарями. До завдання можна прикласти документи папки документів, що містяться в DOCS Open. Потім задаються виконавці роботи, при цьому підтримується як рівнобіжне розсилання, так і послідовна (від людини до людини). Для кожного виконавця визначаються терміни та повноваження – чи може він додавати (видаляти) прикріплені

документи, перенаправляти свою роботу іншим. Визначаються так само дії при виконанні завдання учасником – чи документи направляються наступному працівнику, чи ініціатор роботи одержує повідомлення про закінчення етапу, чи пакет документів повертається для контролю зроблених дій. При цьому ініціатор може прийняти результати виконання чи відправити документи на доробку.

Відомо, що більшість документів в організаціях ходить за тими самими маршрутами. Тому один раз створений маршрут може бути збережений зі всіма параметрами для наступного використання.

При надходженні завдання до працівника воно поміщується в папку “Вхідні”. Виконавець може відкрити отримане завдання, ознайомитися з інформацією, що міститься в ньому, відкоригувати прикріплені документи, додати нові. Можна поставити запитання ініціатору завдання чи повідомити системі, що завдання виконане.

Ініціатор роботи може контролювати проходження робіт з маршрутів. Інформація про стан виконання завдань наочно представляється в папці “Вихідні”. Можливе одержання повної історії виконання, а так само оперативне втручання: заміна виконавця, документів, термінів, переривання завдання, переклад його в режим “відкладене”. Виконані завдання поміщаються в архів.

Централізоване збереження документів у системі DOCS Open дозволяє маршрутизувати тільки самі завдання, без повторного копіювання вмісту документів від виконавця до виконавця. Весь персонал працює з єдиною базою, DOCS Open не дозволяє одночасно редагувати документ більш, ніж на одному робочому місці. Це рятує від проблем “розповзання” різних редакцій того самого документа по різних комп’ютерах, коли ніхто не в силах сказати де знаходиться остання версія і чим своя відрізняється від версії на машині сусіда.

Таким чином, за допомогою DOCS Open і модуля маршрутизації можна організувати потоки електронних документів і встановлювати над ними повний контроль.

У даний час все більше промислових підприємств і конструкторських бюро впроваджують системи автоматизованого проектування. У деяких організаціях цей процес тільки починається, на інших встановлено десятки і навіть сотні автоматизованих робочих місць. Але, незважаючи на всі розходження в підходах, можна з упевненістю стверджувати наступне: рано чи пізно кожному підприємству, що встало на шлях автоматизації, прийдеться вирішувати проблему організації інженерного документообігу.

Дана проблема виникає відразу ж, як тільки на підприємстві встановлюється перше робоче місце САІР. Але усвідомлюється і проявляється вона повною мірою лише після того, як кількість розроблених документів перевищить деяку межу (скажімо, п’ятсот чи тисячу), а в процесі розробки та підготовки виробництва почнуть використовуватися кілька десятків (чи

Відомо, що пакети САПР працюють з документами, представленими в електронному виді. Кожне креслення являє собою окремий файл. Іноді до нього додаються ще кілька файлів - опису, деяка документація, повідомлення тощо. Креслення окремої деталі логічно зв'язане з кресленням складальної одиниці, при цьому та сама деталь може входити відразу в декілька зборок. Над проектами працюють, як правило, багато конструкторів одночасно. Усі перераховані вище фактори породжують наступні проблеми.

**Проблема пошуку.** Навіть якщо всі файли креслень і інших документів знаходяться на одному комп'ютері, пошук потрібного документа серед сотень інших часто вимагає титанічних зусиль, що, проте, іноді закінчуються невдачею. Проблема тут полягає в тім, що у файловій системі комп'ютера єдиний осмислений атрибут збереження - це ім'я файлу. Якщо глянути на основний напис креслення, стане зрозуміло, що для успішної організації збереження, пошуку та доступу до інженерних документів одного імені файлу явно недостатньо.

**Проблема вибірок.** Перед конструктором щодня встає задача - зробити вибірку з існуючої безлічі документів за визначеними критеріями. Наприклад, необхідно отримати список складальних одиниць проекту "Виріб №7", у якого входить деталь ДТ.128.256.512. Критерії вибірок при реальній роботі бувають набагато складніші, тому що можуть містити в собі, наприклад, практично будь-яку комбінацію граф основного напису.

**Проблема копій і оригіналів.** Уявімо собі цілком повсякденну ситуацію: деяка деталь входить в декілька (чи декілька десятків) зборок. При добробіт файлу креслення залишаються декілька (чи декілька десятків) файлів старих версій, що розкидані по різних комп'ютерах і каталогах. При цьому на одному з комп'ютерів уже може зберігатися більш нова версія креслення цієї ж деталі, виконана раніше іншим конструктором. Як реально контролювати все це різноманіття копій того самого документа?

**Проблема ієрархій.** Проекти повинні складатися з документації, креслень деталей і складальних одиниць. У свою чергу, складальні одиниці складаються з підборок, підборки - з деталей тощо. Система збереження документації винна забезпечувати ієрархічну побудову структури, тому що при великих обсягах бази даних працювати в лінійних списках практично неможливо.

**Проблема прав доступу.** Цілком зрозуміло, що не кожен працівник повинний мати можливість редагувати, копіювати і видаляти будь-як документ, розроблений на підприємстві. Хтось повинний мати права на зміну визначених документів проекту, а хтось - тільки на перегляд цих документів, плюс права на корекцію документів іншого проекту. Інші фахівці взагалі не повинні мати доступу до деяких файлів з конфіденційною інформацією чи внутрішніми ноу-хау. Подібні дії прийнято називати розмежуванням прав доступу. Без налагодженої системи документообігу зробити таке розмежування прав на структуровану безліч технічної документації



дуже проблематично. У свою чергу, без такого розмежування можливі не-санкціоноване копіювання, видалення, виправлення документів, тобто дії, що можуть призвести до серйозних втрат підприємству (як фінансових так і технологічних). Украй важливою є можливість переглянути історію життєвого циклу документа - коли був створений, коли і кім редагувався, проглядався, копіювався тощо.

**Проблема версій.** Любий технічний документ за час свого життєвого циклу переглядається та коректується декількома фахівцями, проходить безліч стадій розробки та затвердження. Тому цілком природним є бажання фіксування версії і навіть підверсії документа в міру його створення й редагування. При цьому вся безліч версій і підверсій повинна представлятися як єдиний документ із забезпеченням миттєвого доступу до будь-якої версії.

**Проблема архіву.** Як правило, будь-яке підприємство має архівну службу. Природно, самий зручний тип архіву - електронний архів. При цьому він повинний бути централізованим, надійним і швидкодоступним. Переміщення документів в архів і їхнє одержання з нього повинно, в ідеалі, займати стільки ж години, як і звертання до локального твердого диску - тобто практично миттєво.

**Проблема керування.** І, нарешті, система документообігу винна бути добре керована. Це значить, що повинні забезпечуватися широкі можливості по керуванню способами збереження даних, їхньої архівації, заданню маршрутів проходження документів, заданню полів форм, що прикріплюються до файлів, тощо. Хороші можливості керування дозволяють гнучко пристосовувати наявну систему документообігу до розмірів підприємства, що змінюються, а також автоматизувати її за допомогою різноманітних специфічних операцій (наприклад, процес проходження повідомлення про зміни).

Вирішити всі перераховані проблеми можна тільки шляхом установки додаткового програмного забезпечення, що візьме на себе функції керування потоком файлів і надасть можливості персоналу швидко одержувати необхідні для роботи документи, не відволікаючи на копання в нетрях файлової системи комп'ютерів. Програмне забезпечення, яке має на меті автоматизувати широке коло задач збереження і пошуку документів, називається системою керування документообігом.

Системи керування документообігом можна розділити на два великих класи:

1. Прості системи нижнього рівня. Вони, як правило, однорангові, мають обмежену функціональність і потужність, але мають невисоку вартість. Прийнятні для організації функціонально простого документообігу в невеликих робочих групах чи організаціях.
2. Розвинуті клієнт-серверні системи. Вони мають високий ступінь масштабування та забезпечують безліч функцій для керування електронними документами. Складаються з серверного компонента і клієнтських місць, що підключаються до нього. На базі таких пакетів можна буду-





вати системи, що керують дуже великою кількістю найрізноманітніших за форматом документів. Висока ступінь масштабування клієнт-серверних систем дозволяє доводити число клієнтських місць до декількох сотень, і навіть тисяч, причому ці місця можуть знаходитися в офісах, розташованих у різних містах і навіть на різних континентах.

Прикладом простої системи нижнього рівня є програмний пакет *RxEDM* норвезької фірми Rasterex International. Цей пакет у своєму класі, мабуть, щонайкраще пристосований для організації саме інженерного документообігу. Його сильними сторонами є:

- можливість гнучкого налаштування карток документів;
- можливість прикріплення до документа невеликого слайда для швидкого перегляду, що полегшує пошук і вибір;
- можливість асоціювання з визначеними типами документів різних програм для редагування, перегляду, друку;
- наявність у пакеті програми RxHighlight для анотування документів усіляких форматів, що дозволяє вносити різні позначки поверх креслення, не змінюючи самого вихідного файлу.

Недоліки RxEDM типові практично для всіх однорангових систем:

- погана ступінь масштабування - швидкість роботи істотно падає при збільшенні кількості користувачів чи кількості документів. Це відбувається внаслідок використання як базових файлів формату DBF і, як наслідок, перевантаження мережі;
- відсутність централізованого збереження - документи знаходяться на різних комп'ютерах і в різних каталогах. RxEDM містить у своїй базі лише картки і посилання на файли. Якщо документ переміщається чи видаляється, картка перестає бути працездатною.
- відсутність засобів ієрархічної структуризації документів - працювати можна тільки з лінійними списками;
- відсутність розвинутих засобів розмежування доступу і захисту документів;
- неінтуїтивний інтерфейс. Список документів розташовується в окремому вікні, яке потрібно закривати для повернення в основну екранну форму (картку).

Вмонтована підтримка різних систем електронної пошти дозволяє практично миттєво пересилати документи, що зберігаються в DOCS Open, у будь-яку точку земної кулі. Підтримується також доступ до системи через Internet.

Можлива інтеграція DOCS Open із системами введення паперових документів, що забезпечують сканування, обробку, розпізнавання, векторизацію, анотування.

Як апаратні засоби архівації підтримуються безліч видів нагромаджувачів: дискові масиви, магнітооптичні нагромаджувачі і бібліотеки, оптичні (CD-ROM) нагромаджувачі і бібліотеки, стримери і стримерні бібліотеки.



Підтримується робота з off-line (відключеними, знятими) носіями інформації (наприклад, CD-ROM). При цьому використання вмонтованого вмісту off-line носіїв дозволяє користувачам вести пошук за змістом і атрибутами off-line документів.

DOCS Open має надзвичайну легкість адміністрування. Навіть для виконання складних налаштувань і розширень на конкретні задачі не потрібно писати ні рядка коду - усі можливості убудовані в систему.

### 9.1.1. Принципи роботи в DOCS Open

Новий документ вводиться в чи систему через команду імпорту, чи створюється за допомогою однієї з підключених до DOCS Open програм. У будь-якому випадку користувачу пропонується заповнити картку, що тепер буде використовуватися для ідентифікації документа замість імені файлу. Картки документів можуть бути складені так, щоб у кожному конкретному випадку вмішувати всі необхідні для опису документа поля. Після заповнення картки документ заноситься в систему. Приклад картки документа (креслення системи КОМПАС 5) наведений на рисунку 9.2.

Карточка документа	
Назва документа	0604-2276-19 Фланец # 24
Приложение	KOMPAS5 Kompas 5.x for Windows
Автор	EXTERNAL Сторонний человек
Кто заполнил	SINSKI Синский Антон Борисович
Тип документа	K5-CDW Чертеж (лист) Компас 5
Тип хранения	В архив
Контрольный срок	30
Описание	Сталь 45 ГОСТ 1050-90
Атрибуты	<input type="checkbox"/> Защита <input type="button" value="Доступ"/> <input type="checkbox"/> К оплате <input type="checkbox"/> Полнотекстовый индекс
История	Дата создания: 19.03.97 Отредактирован: 19.03.97 Кто редактировал: BOGDANOV Состояние: Доступен
<input type="button" value="Закрити"/>	

Рис.9.2. Приклад картки документа в DOCS Open

За документами, занесеними в DOCS Open, можна виконувати пошук, задаючи як критерії значення полів картки документа. Можна задавати складні критерії типу “щоб в описі документа містилася <Сталь 45>”. Можна робити пошук за словами, що містяться в документі.

На рисунку 9.3. наведене вікно, що відбиває результати пошуку за критеріями “Креслення Компас 5, що містять у назві слово <Втулка>”.



Рис.9.3. Вікно, що відбиває результати пошуку за критеріями “Креслення Компас 5, що містять у назві слово <Втулка>”

Далі документи можна організувати в проекти чи ієрархічні структури (папки), створювати версії і підверсії, у загальному - використовувати весь потенціал пакета. Таким чином, DOCS Open володіє зручним інтуїтивним інтерфейсом, з яким може ефективно працювати навіть непідготовлений користувач.

Якщо двічі натиснути кнопкою миші на виділений документ, з'явиться вікно вибору версій, кожен з яких можна завантажити в програму, асоційовану з даним документом.

Можна переглянути вміст документа, викликавши вмонтовану чи зовнішню програму швидкого перегляду.

Гнучкі можливості налаштування DOCS Open дозволяють задавати способи відображення документів, забезпечуючи більш зручну роботу з ними.

Таким чином, DOCS Open являє собою інтегроване середовище документообігу, що дозволяє вести ефективну роботу з базою даних, що містить десятки й сотні тисяч різноманітних документів.

### 9.1.2. Особливості інженерного документообігу в DOCS Open

Інженерний документообіг має на увазі роботу з документами найрізноманітніших форматів. На підприємстві, як правило, використовуються кілька різних пакетів САПР, що обмінюються між собою інформацією через який-небудь проміжний формат (наприклад, DXF). Повідомлення і технологічні документи можуть створюватися в різних текстових процесорах. Відскановані креслення зберігаються в растровому вигляді, а при необхідності доробки переводяться в будь-який векторний формат. Існує також нагальна

потреба реєстрації й обліку документів у паперових архівах. Якщо помножити цю ситуацію на *N*-робочих місць, то стає зрозуміло, що без централізованого керування документообігом у міру збільшення кількості документів проблеми будуть наростати, як сніжний ком.

DOCS Open надзвичайно ефективно вирішує задачі роботи з різними форматами документів. Конструктори та технологи працюють зі звичними для непосв'яченої в премудрості комп'ютерних технологій людини обліковими записами (картками) документів, не задумуючись де вони фізично знаходяться та в якому додатку які файли треба редагувати. Потужні функції пошуку дозволяють користувачу швидко одержати потрібну для роботи добірку документів.

Підтримка версій і підверсій документів створює можливість мати безліч варіантів технічного документа. Оскільки при цьому він представлений у системі як цільна одиниця, відпадає проблема “розповзання” по підприємству різних версій однієї і тієї ж документації.

Безсумніву, однією з сильних сторін пакета є можливість входження того самого документа в різні проекти (папки), що дозволяє компонувати проекти та комплекти документації без повторного копіювання тих самих файлів у різні каталоги.

Можливість оголошення підключених додатків сумісними один з одним дозволяє завантажувати документи в різні програмні пакети в залежності від мети, що переслідується. Наприклад, відскановане креслення можна переглядати програмою перегляду растрових зображень, а можна завантажити в пакет векторизації для перекладу в векторному представленні.

Тому, що DOCS Open здійснює централізоване збереження документів на сервері, відпадає необхідність у фізичному копіюванні файлів при передачі документації, приміром, з конструкторського відділу в технологічний. Оскільки всі документи вже розміщені в базі дані системи, досить лише перевизначити права доступу на комплект креслень та документації.

Можливість забезпечувати доступ до системи окремим користувачам і робочим групам, а також можливість підтримки декількох серверів дозволяє об'єднати в єдину систему географічно рознесені філії виробничих підприємств.

## **9.2. RxEDM - електронний документообіг для робочих груп і невеликих підприємств**

### **9.2.1. Призначення пакету RxEDM**

**RxEDM** - це комплекс програм для Windows норвезької фірми Rasterex (International) a.s., що працює в локальній мережі персональних комп'ютерів. Користувач може використовувати окремі компоненти RxEDM на своєму персональному комп'ютері, навіть не підключеному до мережі (рис.9.4).

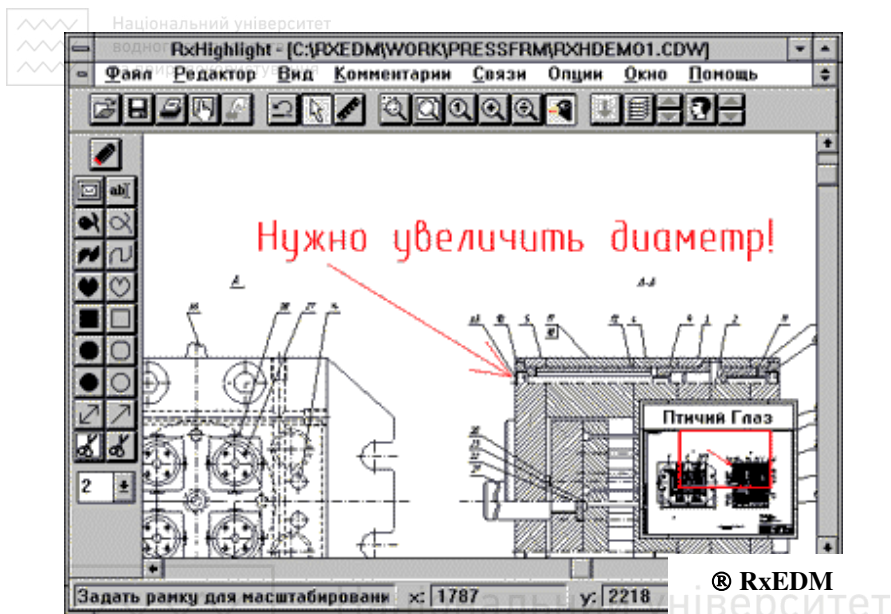


Рис.9.4. Вікно системи RxEDM

Система електронного документообігу RxEDM виконує наступні функції:

- зберігає креслення й інші документи робочої групи в комп'ютерній мережі;
- забезпечує керування доступом і циркуляцією коментарів і виправлень у документах;
- створює бази даних з можливістю анотації і перегляду графічної інформації у векторних форматах САПР і растрових форматах (відскановані зображення), а також текстових документів;
- архівує для використання відскановані паперові документи за допомогою зручних програмних засобів.

Загальне сховище текстових і графічних документів на мережному сервері підтримується програмою RxIndex. Система має інтерфейс із неавтоматизованою частиною документообігу підприємства через сканування паперових документів і вивід їх на плоттер.

Розглянемо процес введення існуючих документів. Після сканування растровий файл може бути відредагований за допомогою програми КОМПАС-Spotlight (ліцензована версія Spotlight). Надалі він заноситься в базу даних RxIndex і може використовуватися безпосередньо як растровий документ, а може бути перетворений у векторну форму за допомогою програми векторизації КОМПАС-Vector (ліцензована версія Vector) для використання в КОМПАС-ГРАФІК 5 чи іншій системі автоматизованого проектування.

Отримане векторне креслення також заноситься в базу RxIndex.

Роботу з контролю і затвердження документації здійснюють за допомогою програми RxHighlight. Цією же програмою обладнане робоче місце централізованого виведення растрових і векторних креслень на графопобудовник. Підтримується вилучений доступ до документів по каналі зв'язку, причому можливе внесення змін у коментарі до документів.

### **9.2.2. База даних креслень і документів RxIndex**

RxIndex - це проста у використанні програма ведення каталогу документів, креслень, растрових файлів. Користувач може відшукати документ із використанням будь-якої комбінації ключових слів, які можна вводити чи вибирати з запропонованого набору. Усі файли, що задовольняють критерію вибору, утворюють список. Інструменти швидкого перегляду файлу полегшують підсумковий вибір.

Інтерфейс системи дуже простий і дружелюбний. Поля введення і кнопки екранних форм цілком програмовані, що істотно збільшує гнучкість їх застосування для автоматизації технологічних процесів, обробки даних, підготовки звітів і навіть як оболонку для запуску додатків. RxIndex допомагає організувати збереження графічних і текстових документів, він може працювати як на окремому робочому місці, так і у вигляді розподіленої мережної системи.

Екранні форми (інтерфейс програми) можна змінювати за допомогою спеціального інструмента - RxForm, що забезпечує установку декількох рівнів захисту і персоналізацію інтерфейсу користувача для створюваних форм.

### **9.2.3. Технічні характеристики RxIndex**

#### **Поля записів**

Число полів обмежене розмірами екрана. Довжина кожного поля до 999 символів. Можливе використання багаторядкових текстових полів. Ключових полів може бути до 60. Граничний розмір файлу - 1 Гбайт.

#### **Пошук**

Швидкий пошук за словом, за текстовим шаблоном, за інтервалом дат, за інтервалом чисел.

#### **Перегляд**

Виконується за растровими слайдами ШВИДКОГО ПЕРЕГЛЯДУ, утвореними з графічних файлів. Слайди для цього створюються за допомогою спеціальної команди чи за допомогою RxHighlight у пакетному режимі.

#### **Налаштовування**

Виконується за допомогою RxForm - інструмента для візуального створення екранних форм. Визначаються розміри, розміщення, тип, атрибути полів. Функціональні кнопки і полючи введення можна програмувати.

#### **Імпорт**

Виконується за допомогою вмонтованих функцій. Візуальний контроль - через ШВИДКИЙ ПЕРЕГЛЯД. Імпорт даних у форматі dBASE.



Для різних користувачів можна встановлювати різні екранні форми для звертання до однієї й тієї ж бази даних. Є вмонтований захист даних і різні рівні таємності.

### **Контроль доступу**

Можна забороняти користувачам доступ до заданих екранних форм, полям, кнопкам.

### **Зв'язки з додатками**

Система має вмонтовану мову з DDE для зв'язку з іншими додатками. Додатки можна викликати для перегляду чи редагування файлу в залежності від його типу. Також можна запрограмувати кнопки для виклику будь-яких додатків з передачею їм параметрів.

### **Сумісність**

Формат файлів бази даних сумісний з форматом dBASE IV.

#### **9.2.4. RxHighlight - програма перегляду й анотування електронних документів**

RxHighlight допомагає переглядати, робити позначки і коментувати, зв'язувати між собою й виводити на друк документи найрізноманітніших форматів - від векторних форматів САПР, растрових кольорових і чорно-білих форматів, до текстових форматів і електронних таблиць. Користувач може вставляти коментарі та зауваження в документи на декількох рівнях, роблячи їх доступними для зазначених категорій користувачів, при цьому позначки не відбиваються на вихідному документі.

Особливістю RxHighlight є те, що користувач може графічно зв'язувати між собою документи, утворювати при цьому складну структуру, що відображає структуру проекту, без використання баз даних. При мережній конфігурації програми можна встановити кілька рівнів привілеїв користувачів. RxHighlight може інтегруватися з іншими додатками Windows з використанням DDE.

#### **9.2.5. Технічні характеристики RxHighlight**

##### **Чорно-білі растрові формати**

RLC, PCX-mono, CCITT Group 3&4, TIFF-mono, CALS.

##### **Векторні формати**

КОМПАС 5: креслення CDW і фрагменти FRW AutoCAD: DXF, DXB, DWG, RND, SLD.

Інші формати: HPGL, HPGL2, CGM, DGN, CADdy, Personal Designer, Calcomp, Gerber.

##### **Кольорові растрові формати**

TIFF, PCX, GIF, TGA, BMP, RLE, DIB, LBM, JPEG, IFF.

##### **Текстові формати**

Word for Windows, Word Perfect, ASCII text, AmiPro.

##### **Формати електронних таблиць**

Excel, Lotus 1-2-3.



## **Функції перегляду**

Масштабування та панорамування, ввімкнення/вимикання векторних шарів, пошук у текстових документах. Сполучення декількох файлів, порівняння файлів з автоматичним виявленням відмінностей. Визначення розмірів об'єктів.

### **Коментування й анотації**

В коментарях можуть бути лінії, кола, дуги, зафарбовані області, текст, що розкриваються вікна з зауваженнями. Коментарі можуть бути 12 кольорів і розміщуватися на 256 шарах. До протоколу коментарю входить підпис, час і дата. Для кожного користувача можна встановити права доступу та обмеження по роботі з коментарями. Коментарі можна виводити на друк разом з документом, що коментується, а також експортувати через DXF-файл.

### **Зв'язок документів**

Можна зв'язувати кілька різних документів для перегляду. Зв'язок представляється графічно у виді кнопки, розташовуваної на документі.

### **Виведення на друк**

Виводить документ на друк з коментарями і без них, весь документ цілком і обрану частину.

### **Зв'язок з іншими додатками**

Здійснюється з використанням механізму DDE.

Використання RxEDM у сполученні з програмними продуктами КОМПАСІ-ГРАФІК 5, КОМПАС-Vectory і КОМПАС-Spotlight дозволяє комплексно вирішити проблему комп'ютеризації інженерного документообігу, у тому числі автоматизації введення паперової інформації в архів.

RxEDM в основному орієнтований на групи користувачів невеликої і середньої чисельності. Він допускає підключення й ефективну експлуатацію 50...100 робочих місць при нормальній організації роботи локальної мережі підприємства.





### 10. ІНЖЕНЕРНО - РОЗРАХУНКОВІ ДОДАТКИ САПР

#### 10.1. Система розрахунків зубчастих, черв'ячних, ланцюгових та пасових передач GEARS

У системі GEARS реалізовані геометричний розрахунок і розрахунок на міцність і довговічність механічних передач різних класів – циліндричних зубчастих передач зовнішнього та внутрішнього зацеплення, конічних зубчастих передач із прямими й круговими зубами, циліндричних черв'ячних передач, ланцюгових передач із втулично-роликівим ланцюгом та ін. Крім того, система виконує розрахунок налагоджень на зубообробні верстати [29].

Результати розрахунків у GEARS можуть бути використані в КОМПАС-SHAFT для автоматичного формування контуру і таблиць параметрів шестерні і колеса зубчастої передачі.

#### 10.2. Система інженерних розрахунків MSC/NASTRAN і Working Model для SolidWorks

MSC/NASTRAN для Windows – це система інженерних розрахунків, основана на методі кінцевих елементів. Пакет розроблений фахівцями фірми MacNeal Schwendler Corporation (США) на базі широко відомої однієї системи для UNIX [29].

Геометричні моделі для MSC/NASTRAN можна формувати як за допомогою внутрішнього препроцесора системи, так і імпортувати з будь-якої іншої CAD-системи. MSC/NASTRAN для Windows має прямий інтерфейс із системою твердотельного параметричного моделювання SolidWorks. Крім того, система може працювати з готовими кінцевоелементними моделями, що були створені за допомогою інших систем інженерних розрахунків і потім передані в MSC/NASTRAN.

Система має модульну архітектуру, і конкретна конфігурація може бути визначена окремо для кожного користувача. При цьому для роботи з кожним з додаткових модулів необхідно мати базовий модуль Basic Analysis, що дозволяє проводити наступні види розрахунків:

- лінійні статичні розрахунки. Аналіз напруг і переміщень під впливом як фізичних, так і теплових навантажень;
- розрахунок власних частот і форм коливань;
- визначення позовжнього вигину для центрально навантаженого стрижня.

Модулі Advanced Analysis розширюють можливості базового модуля і дозволяють проводити нелінійний і динамічний аналіз, а також тепловий розрахунок.

Модуль нелінійного аналізу (Nonlinear Analysis) дозволяє вирішувати

статичні і динамічні задачі з обліком фізичної і геометричної нелінійності.

Розглядаються наступні види фізичної нелінійності (нелінійні властивості матеріалів):

- пластичність (для малих деформацій);
- умови текучості за Мізесом і Тріску;
- умови текучості Мора-Кулона і Друкера-Прагера;
- ізотропне, кінематичне і комбіноване зміцнення;
- білінійний та багатоточковий методи задання кривих залежностей напруг від деформацій.
- гіперпружні властивості (для великих деформацій);
- нелінійна пружність (для малих деформацій);
- термпружність;
- в'язкопружність (повзучість);
- в'язкопружність з урахуванням пластичності.

Геометрична нелінійність:

- великі переміщення і великі кути повороту (модифікований лагранжیان);
- великі деформації (повний лагранжیان для гіперпружних матеріалів);
- аналіз втрати стійкості (потріскування);
- слідуючі навантаження.

Модуль розрахунку теплопередачі (Heat Transfer) вирішує наступні задачі:

- лінійний та/чи нелінійний сталий стан;
- лінійні і/чи нелінійні перехідні процеси;
- простий перехід до розрахунку температурних деформацій і напруг.

Модуль динамічного аналізу (Dynamic Response) призначений для розв'язування задач дослідження напружено-деформованого стану конструкцій, які піддаються впливу перемінних навантажень в залежності від часу чи частоти.

Система CFXDesign дає змогу розв'язувати гідрогазодинаміки, включаючи ламінарний та турбулентний рух рідини та газу з можливістю розрахунку процесів теплопередачі.

Модуль MSC Working Model призначений для конструкторів, які працюють з SolidWorks, але не володіють глибокими теоретичними знаннями в області розрахунків методом кінцевих елементів.

### 10.3. Система проектування прес-форм MoldWorks

Система проектування прес-форм MoldWorks для SolidWorks призначена для автоматизації роботи конструктора і виконання задач автоматизованого компонування прес-форм. Розроблювач системи- ізраїльська фірма R&B Ltd. - є стратегічним партнером SolidWorks у рамках програми Gold Partner [29].



### 10.3.1. Функціональні можливості MoldWorks

В системі MoldWorks можливе:

- визначення габаритів пакета за фасонними вставками (для матриць) і бічними стрижнями з повзунами. Модифікація товщин плит;
- проектування звільнень у матричних плитах під фасонні вставки і повзуни бічних стрижнів;
- кріплення фасонних уставок з визначенням розташування деталей кріплення по плановому вигляді;
- визначення типу і місця штовхальників у матриці. Простановка штовхальників;
- проектування системи охолодження. Попередній перегляд системи отворів для охолодження. Редагування параметрів отворів;
- перевірка пересікання отворів у матрицях. Вибір критерію пересікання за товщиною стінки, визначення та демонстрація критичних місць;
- редагування компонентів прес-форми. Переміщення комплектуючих деталей пакета, зміна їхніх параметрів, видалення зі складу пакета. Присвоєння матеріалу для деталей прес-форми;
- модифікація стандартного пакета плит за заданими розмірами. Додавання в пакет додаткових чи плит брусків і їхнє видалення;
- побудова складної лінії рознімання. Визначення лінії рознімання та перенос її контуру на фасонні плити. Виконання кишень на складному розніманні;
- можливість виконання багатогніздової оснастки;
- створення специфікації у форматі MS Excel чи текстового файлу;
- формування файлу даних для обробки плит на верстатах із ЧПУ.

### 10.3.2. Переваги використання MoldWorks

MoldWorks застосовується, в першу чергу, з метою скорочення циклу проектно-конструкторських робіт. Час компонування прес-форми в системі MoldWorks займає декілька годин, на відміну від 1,5 - 2 тижнів при звичайному проектуванні, навіть із застосуванням комп'ютера.

MoldWorks допомагають оптимізувати розміри пакета та розташування його вузлів, “по місцю” редагувати окремі складові прес-форми.

При ручному проектуванні конструктор не може гарантувати повну працездатність конструкції на стадії її розробки (це досить складно зробити, працюючи з окремими креслярськими видами). У результаті прес-форма піддається кількарізковим іспитам і доведенню в інструментальному цеху. У системі MoldWorks можна проаналізувати збирання форми і працездатність її вузлів, передбачити пересікання роботи окремих деталей у формі (виштовхувачів і бічних стрижнів, що мають спільну робочу зону).

Брак при виготовленні прес-форм найчастіше пов'язаний з помилками конструктора в розрахунку системи охолодження. MoldWorks аналізує товщини стінок, допомагаючи уникнути перетинань отворів охолодження з іншими отворами.



Швидкість компонування прес-форм у MoldWorks обумовлена використанням параметричних тривимірних об'єктно-орієнтованих бібліотек деталей прес-форм за декількома міжнародними стандартами (DME, HASCO, NATIONAL, RABOURDIN, FUTABA, EOC, STRACK). Всі компоненти, що використовуються в прес-формах мають графічний і інформаційний опис і позиціюються в збірці відповідно за їх призначенням.

## 10.4. Автоматизована система керування інформацією про виріб PartY

За допомогою автоматизованої системи керування інформацією про виріб можна вирішити проблеми, які зустрічаються на підприємствах при розробці нових і супроводі виробів, що випускаються [30].

**10.4.1. Основні можливості PartY.** За допомогою PartY і додаткових модулів можна:

- організовувати санкціонований доступ всіх учасників роботи над проектом до різної інформації для її спільного використання;
- здійснювати різноманітне проектування та порівняння варіантів за різними критеріями (вага, кількість деталей і ін.);
- організовувати збереження варіантів, що не ввійшли в основний проект;
- проводити пошук вузлів і деталей по різних проектах;
- здійснювати пошук документів за різними критеріями;
- робити запозичення (копіювання) вузлів і деталей з інших проектів;
- здійснювати роботу з виконаннями виробів;
- проводити напівавтоматичну нумерацію (позначення) вузлів, деталей і документів;
- переглядати документи, креслення та тривимірні моделі різних графічних форматів;
- проводити візуальну верифікацію документів в електронному виді;
- організовувати рівнобіжне проектування вузлів;
- контролювати неповторюваність позначень виробів (документів);
- проводити перевірку комплектності випущеної документації;
- вести облік змін запозичених деталей і вузлів;
- контролювати номенклатуру застосовуваних матеріалів і сортаменту;
- здійснювати роботу з довідниками по номенклатурі покупних виробів;
- планувати та контролювати терміни випуску робочої документації;
- вести аудит проходження документації по підрозділах (ОГТ, ОГМет, ОГМетр тощо);
- вести облік надходження робочої документації в архіві;
- контролювати видачу, повернення та збереження паперової документації;
- генерувати на будь-якій стадії проекту різні звіти за результатами проектування (звіт про завантаженість конструкторів, (бригад, відділів),



звіт про кількість випущеної документації конструктором (бригадою, відділом тощо);

- формувати специфікації і різні відомості (матеріальна відомість, вагова відомість, відомість покупних виробів, відомість запозичених деталей тощо);
- створювати список розсилань копій документації;
- вести історію створення виробу;
- запускати додатки для створення та редагування документів прямо з системи.

Якщо система PartY буде задіяна на виробництві, то з її допомогою можна:

1. Планувати та контролювати терміни розробки документації на деталі, вузли і вироби
2. Формувати різні звіти за результатами робіт

Якщо на підприємстві існує багато територіально розподілених конструкторських відділів, то за допомогою системи PartY можна організувати налагоджену взаємодію вилучених підрозділів при роботі над одним чи декількома проектами.

#### **10.4.2. Користувачі системи PartY**

**Конструктор може здійснювати:**

- швидкий пошук аналогічних вузлів і деталей по всіх проектах;
- пошук документів за вузлами, деталями та виробами;
- контроль комплектності документації;
- запозичення виробів з інших проектів;
- ведення різноманітного проектування;
- одержання попередніх і остаточних специфікацій і відомостей.

**Провідний інженер може виконувати:**

- швидкий пошук аналогічних вузлів і деталей по всіх проектах;
- пошук документів за вузлами, деталями та виробами;
- контроль комплектності документації за різними вузлами;
- контроль використання запозичених виробів;
- ведення різноманітного проектування.

**Начальник Конструкторської бригади може здійснювати:**

- планування виконання робіт;
- контроль термінів виконання робіт;
- контроль комплектності документації;
- контроль завантаженості конструкторів;
- контроль внесення змін;
- контроль різноманітного проектування;
- контроль номенклатури покупних виробів, номенклатури матеріалів і сортаменту;
- контроль замовлень на виготовлення.

**Начальник Конструкторського Відділу:**

- оцінка і контроль завантаженості конструкторських бригад;



- Национальний університет
- контроль різноманітного проектування;
  - контроль номенклатури покупних виробів, номенклатури матеріалів і сортаменту;
  - контроль виконання замовлень на виготовлення.

#### **Провідний конструктор:**

- контроль термінів виконання робіт;
- контроль різноманітного проектування;
- планування і контроль виконання замовлень на виготовлення.

#### **Головний Конструктор:**

- контроль ходу виконання всіх робіт із проекту.

#### **Директор**

- загальний контроль ходу виконання всіх робіт з різних проектів.

### **10.5. Прикладні рішення на основі системи PDM Part'97**

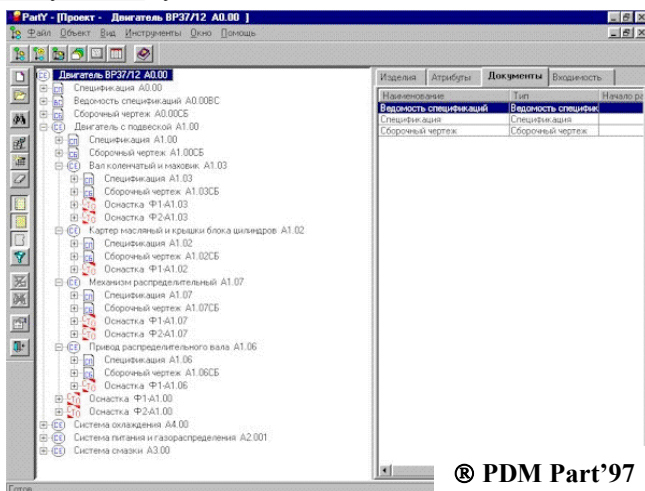
Система PDM Part'97 відноситься до систем TDM/PDM (систем керування технічною документацією й інформації про виріб) [30].

Система може використовуватися як:

#### **а) система структурованого електронного архіву технічної документації;**

Система структурованого архіву (рис.10.1) призначена для збереження документації (в першу чергу, технічної) організацій та підприємств.

Рішення, що пропонуються на ринку систем керування документами (СУД), у більшості випадків зберігають інформацію в архіві у виді "великого смітника", у якій документи не мають між собою логічного зв'язку.



® PDM Part'97

Рис.10.1. Побудова системи структурованого електронного архіву документації на основі системи PDM Part'97

дозволяє вибудувати структуру логічних зв'язків документів в архіві і зв'язаних з ними об'єктів (виробів) без фізичного переміщення і копіювання документів. Крім цього, система PDM розширює обсяг збереженої інформації, дозволяючи заносити в систему дані про ті атрибути об'єктів, що не знайшли відображення в документах.

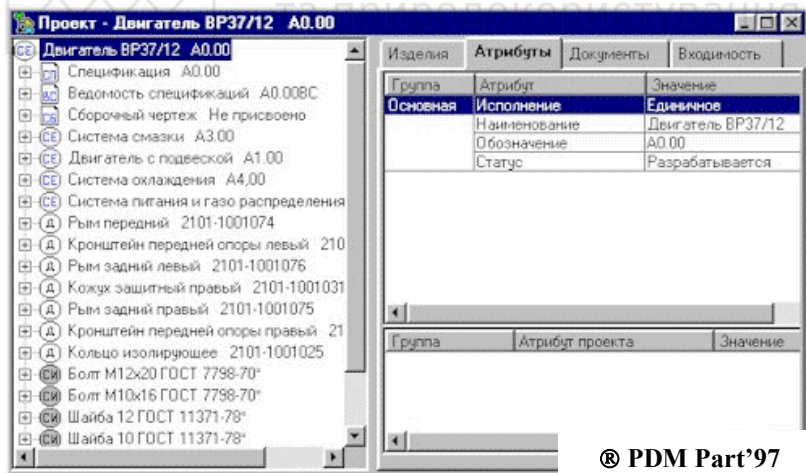
А функція автоматичного визначення вхідності (застосовності) документа чи об'єкта в інших об'єктах дозволяє легко знаходити об'єкти, яких торкнулася зміна даного документа.

Крім простого формування ієрархічного дерева документів, можливе задання так званих "горизонтальних" зв'язків між документами й об'єктами (типу "родинні" чи "подібні" документи) і об'єднання їх у добірки. Система має функцію ведення історії, що дозволяє вести облік усіх змін зв'язків документів.

Додатковим плюсом використання системи Part'97 разом із СУД є можливість одержання будь-яких звітів по пов'язаних документах.

#### **б) система керування інформацією про виріб і проектними даними;**

Система керування інформацією про виріб і проектними даними (рис.10.2) – основне призначення системи PDM Part'97. Більш ефективним є використання Part'97 разом із системою керування документами (наприклад, DOCS Open) і автоматизації документообігу. Це рішення дозволяє вирішувати задачі автоматизації групового рівнобіжного проектування складних технічних виробів, автоматизувати проведення змін і багато чого іншого.



® PDM Part'97

Рис.10.2. Структура проекта автомобильного двигателя в системе PDM Part'97

Дане рішення є основою для побудови системи керування якістю, системи технічної підготовки виробництва й АСУ ремонту й експлуатації.

Відмінною рисою підходу, що пропонується є незалежність від САПР і



АСУ, які використовуються на підприємстві. Рекомендується використовувати як надбудову над електронним архівом підприємства, разом з додатковими модулями для обміну інформацією з MRP/ERP-системами, такими, як SAP R/3 чи BAAN.

Вбудований механізм формування бізнес-правил дозволяє задавати різні логічні умови проектування та супроводу готового проекту (такі як порядок підписів стверджуючих співробітників при затвердженні проекту, обмеження на застосування окремих виробів і об'єктів у проекті, перевірка несуперечності інформації).

Можливості по створенню різних вибірок і аналітичних звітів дозволяють керівництву швидко одержувати актуальну інформацію з проекту.

На відміну від західних систем PDM, Part'97 цілком відповідає вимогам вітчизняних стандартів, має цілком російськомовний інтерфейс і дозволяє шукати інформацію, введену російською мовою.

#### **в) система керування якістю;**

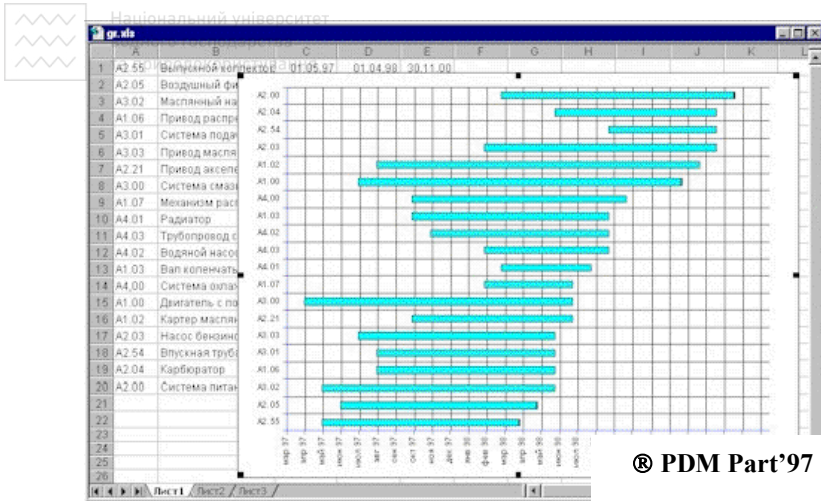
Система керування якістю є необхідною для будь-якого підприємства чи організації, що бажає одержати сертифікат якості відповідно до вимог стандартів серії ISO 9000. Дотримання вимог даної серії стандартів є практично обов'язковим для будь-якого підприємства, що здійснює роботи для закордонного замовника чи поставляючого свою продукцію на західний ринок.

Система керування якістю припускає спільне використання Part'97 із системою керування документами (наприклад, СУД DOCS Open, що рекомендується незалежними експертами як така, що найкраще відповідає вимогам стандартів ISO 9000) і системою документообігу. При цьому ведеться повний аудит дій користувача при роботі з системою (авторизація користувача при вході в систему, поділ прав доступу до об'єктів, документів (до рівня документа, а не архіву, як у ряді інших систем) і атрибутів об'єктів і документів, процедури check-in/check-out, історія роботи тощо). За рахунок цього досягається облік як зміни й руху документів, так і зміна інформації про виріб у процесі його проектування і виготовлення.

Нагромадження інформації в системі ведеться із самого початку проектування об'єкта, вона надходить безпосередньо з робочих місць співробітників у результаті їхньої звичайної повсякденної роботи. Отримані значення можуть служити вихідними даними для систем статистичного контролю якості.

Пропонований підхід дозволяє звести до мінімуму помилки проектування і практично усунути помилки, пов'язані з неточними діями користувача. Запобігання помилок досягається за рахунок використання системи бізнес-правил Part'97.

Додатково система дозволяє контролювати терміни проектування і виготовлення виробів, із представленням інформації у вигляді тимчасової діаграми (діаграми Ганта) з можливістю передачі її в електронну таблицю Excel (рис.10.3).



® PDM Part'97

Рис.10.3. Одержання тимчасової діаграми проекту на підставі інформації в системі Part'97

Відомо, що стандарти серії ISO 9000 визначають тільки те, яким вимогам повинна задовольняти система керування якістю, але не яким способом вона буде реалізована. Пропонований спосіб реалізації представляється одним з найбільш простих і зрозумілих для кінцевого користувача.

#### г) АСУ ремонту й експлуатації;

АСУ ремонту й експлуатації призначена для підприємств і організацій, зв'язаних з випуском і обслуговуванням техніки (авіаційних, авіаційно-космічних і автомобільних заводів; підприємств енергетики та зв'язку, електростанцій тощо).

АСУ ремонту й експлуатації тісно зв'язна із системою керування якістю. Система дозволяє планувати графіка планових ремонтів і регламентних робіт, фіксувати всю історію проведених робіт і змін.

На підставі введених даних дозволяє одержувати різні звіти:

- список вузлів, доступних до обслуговування користувачем (з термінами обслуговування, що рекомендуються);
- перелік вузлів, що вимагають обслуговування фахівцями сервісного центра чи підприємства-виготвника (з термінами технічного обслуговування, припустимими для використання аналогами тощо);
- формувати замовлення на видаткові матеріали і змінні комплектуючі, виходячи з термінів їхньої служби;
- звіти для контролюючих організацій (СЕС, МНС тощо).

Рекомендується використовувати систему з архівом технічної документації на виріб, що включає повний комплект експлуатаційної документації.

#### д) система технічної підготовки виробництва;

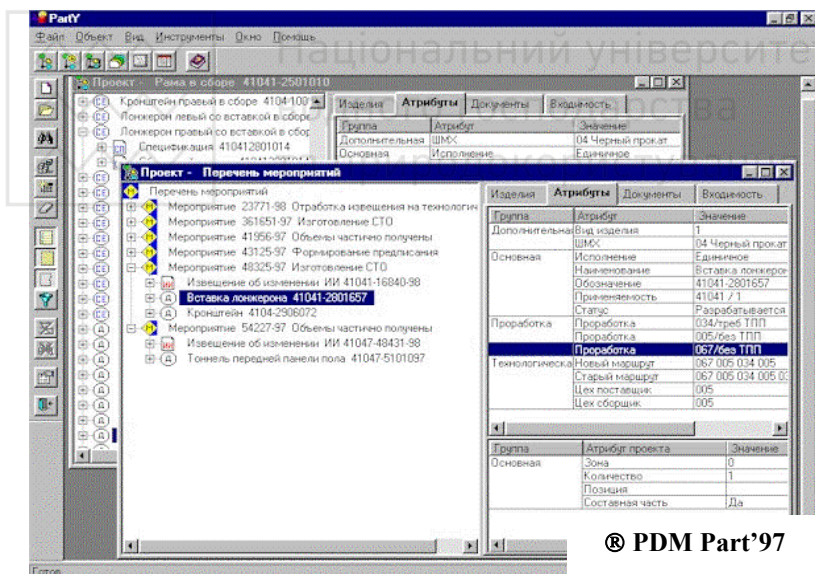
Це застосування системи PDM дуже тісно пов'язано інформаційними потоками із системами MRP/ERP та системами технологічної підготовки виробництва.

У наведеному прикладі (рис.10.4) система PDM служить для організації погодженого комплексу заходів для підготовки виробництва, куди входять планування термінів підготовки виробництва, облік дії повідомлень про зміну, підготовка технологічної документації та виготовлення оснащення, аналіз затримок у графіку робіт і багато інше.

Кожен захід може співвідноситися з одним чи декількома виробами, як основного, так і допоміжного виробництва.

Співробітники на робочих місцях одержують оперативну інформацію про стан робіт з підготовки виробництва виробу.

Аналітичні функції дають можливість прогнозувати реальні терміни підготовки виробництва, оптимізувати критичні ділянки та максимально використовувати наявні на підприємстві матеріальні і людські ресурси.



® PDM Part'97

Рис.10.4. Работа с заходами системы технической подготовки производства в системе Part'97

### є) система паспортизації та керування майном;

Система керування майном призначена для комерційних і державних організацій, у яких виникають задачі обліку майна й обслуговування пов'язаних з ним графічних документів (облік і розміщення меблів і устат-

кування в тривимірних моделях приміщень, облік устаткування по місцеві його розташування тощо)

При цьому одиницями обліку можуть служити як завдання, його поверхи, так і розташовані на них устаткування (меблі, оргтехніка (рис.10.5), тощо), а також великі складні об'єкти (родовище (рис.10.6), мікрорайон) і комунікації (трубопроводи, вентиляція, кабельні мережі).

Для кожного об'єкта задається територіальна належність і інші необхідні атрибути (вартість, інвентарний номер, матеріально відповідальна особа тощо).

Кожен об'єкт у системі має унікальний інвентарний номер, що запобігає його випадковому дублюванню при помилці користувача. Користувач може працювати (у залежності від прав доступу і необхідного рівня деталізації) як із усією моделлю будинку (чи будинків), так тільки з яким-небудь одним рівнем ієрархії (поверх) чи об'єктом.

Система паспортизації майна може бути інтегрована з прикладними САПР і ГІС.

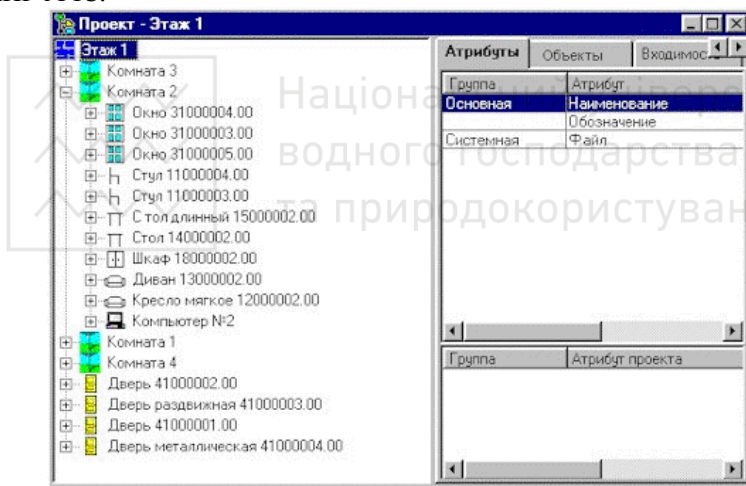
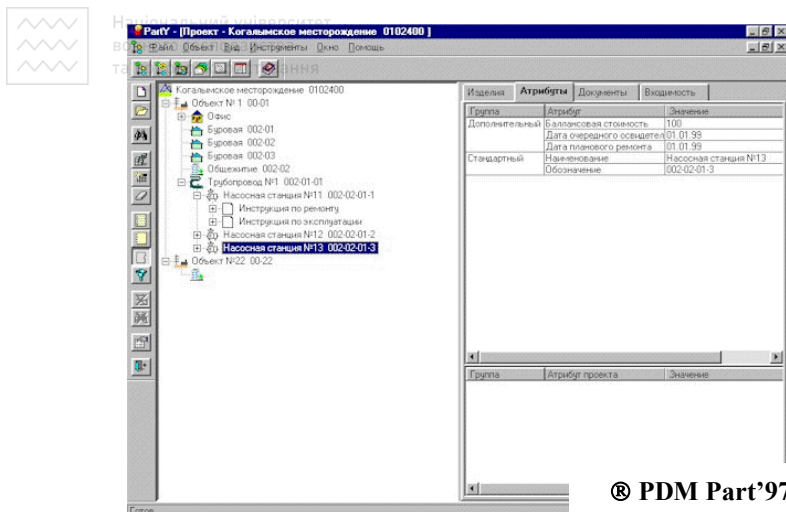


Рис.10.5. Приклад побудови системи керування майна банку за допомогою системи Part'97

Для всіх об'єктів у системі існують графічні образи, що дозволяє побудувати модель кімнати з обстановкою на підставі даних з бази Part'97 (у даний момент існує реалізація для AutoCAD R14 і Autodesk Mechanical Desktop 2.0, можлива інтеграція з іншими графічними пакетами).

На підставі бази даних Part'97 у будь-який момент можливе одержання будь-яких звітів по наявності і стану майна (власник, сумарна вартість, дата списання тощо). Звіт може бути експортований в електронну таблицю Excel для подальшої обробки.



® PDM Part'97

Рис.10.6. Система паспортизації майна великої компанії на основі системи Part'97

Можлива візуалізація моделі вмонтованими засобами перегляду (тривимірна модель із включенням і виключенням відображення представлених об'єктів). Засоби перегляду й анотування поставляються за бажанням користувача (Rocket ReView PRO, Autodesk View, AutoVue PRO, RxHighLight).

Як додатковий сервіс може бути запропоноване промальовування бази тривимірних зображень об'єктів (приміщень, меблів і устаткування тощо) за вихідними даними замовника, інтеграція інших графічних систем тощо. Сподіваюся, нам удалося показати деякі можливості використання систем PDM у різних областях.

Крім основного застосування, системи PDM можуть використовуватись як системи інформаційного обслуговування та створення інтерактивних технічних посібників, а також як інструментарій для ведення версій програм при їхній розробці, і навіть для обліку роботи з клієнтами чи ведення генеалогічного дерева родини.

## 10.6. Система інженерних розрахунків APM WinMachine

Для реалізації задач розробки сучасних конкурентноздатних машин на машинобудівному підприємстві призначена система APM WinMachine - російська розробка компанії АПМ, адресована інженерам і конструкторам, зайнятим конструюванням і модернізацією існуючого механічного устаткування [31].

Компанія АПМ (Автоматизоване Проектування Машин) спеціалізується на створенні програм для розрахунків і проектування машин і механізмів.

мів, металічних конструкцій, деталей і вузлів. Крім того фірма виконує оригінальні розробки в області механіки, машинобудування та програмування за замовленнями підприємств і організацій. Основною розробкою фірми є система проектування й розрахунку деталей машин APM WinMachine, яка містить у собі програми для проектування деталей загального призначення й інструменти для розрахунку на міцність, твердість і довговічність. Фірма розробила методи розрахунку неідеальних машин, що не мають світових аналогів.

При створенні системи APM WinMachine був використаний унікальний досвід конструювання машин, що напрацьовувався довгі роки в численних лабораторіях галузевих інститутів і інших наукових організацій і підприємств колишнього СРСР. В системі APM WinMachine такий досвід узагальнений, осмислений, доповнений власними оригінальними розробками і реалізований у вигляді комплексу комп'ютерних програм, що складають інструментальну основу проектування.

Система APM WinMachine за більшістю параметрів не має світових аналогів. До її складу увійшли підсистеми розрахунку міцності, твердості і стійкості механічних систем, реалізовані методом кінцевих елементів. За допомогою WinMachine можна швидко і без проблем одержувати раціональні геометричні розміри елементів машин і будівельних конструкцій.

З її допомогою можна виконувати розрахунки і проектування:

- з'єднань деталей машин і елементів конструкцій, включаючи комплексний розрахунок усіх типів різьбових, зварних, заклепкових з'єднань і з'єднань деталей обертання;
- всіх типів зубчастих передач, а також черв'ячних, пасових і ланцюгових передач, і виконання креслень елементів цих передач в автоматичному режимі;
- розрахунок і проектування гвинтових передач;
- підшипників кочення усіх відомих типів і підшипників ковзання;
- валів і осей;
- довільних балкових конструкцій;
- фермових плоских і просторових конструкцій;
- напружено-деформованого стан деталей методом кінцевих елементів;
- тривимірних рамних конструкцій;
- пружних елементів машин (пружин стиснення, розтягування та кручення, плоских та тарілчастих пружин і торсіонів);
- кулачкові механізми з автоматичним генератором креслень.
- підйомні механізми довільної структури;
- приводи обертального руху довільної структури;
- планетарні передачі довільного типу;
- оболонкові та пластинчасті конструкції довільного виду методом кінцевих елементів.



### 10.6.1. Підсистеми APM WinMachine

Підсистеми, що входять до складу APM WinMachine призначені реалізації конкретних інженерних задач, вони розроблені для роботи, в основному, в середовищі Windows 3.1 і вище. Підсистеми можуть експлуатуватися як у складі системи APM WinMachine, так і самостійно.

#### 10.6.1.1. Машинобудування.

**WinBear**- підсистема розрахунку неідеальних підшипників кочення, що являють собою основний тип опор для обертових деталей машин, різних механічних пристроїв і систем. APM WinBear виконує комплексний аналіз підшипників кочення від розрахунку основних характеристик підшипників до вибору оптимальної конструкції підшипникових вузлів (рис.10.7).

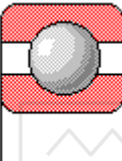
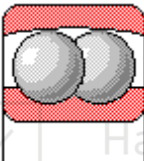
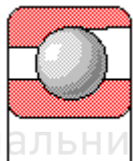
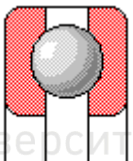
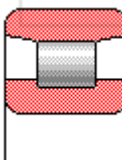
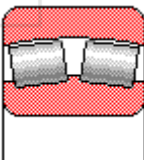
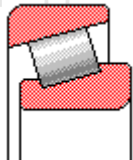
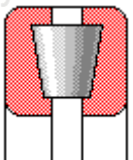
Шарикові підшипники			
			
Радіальні	Сферичні	Радіально-упорні	Упорні
® APM WinMachine			
			
Радіальні	Сферичні	Радіально-упорні	Упорні

Рис.10.7. Типи неідеальних підшипників кочення, що проектується в підсистемі WinBear

APM WinBear - нова програма розрахунку параметрів неідеальних підшипників, що не має аналогів.

Підшипник вважається неідеальним, якщо погрішностями його виготовлення не можна знехтувати в контексті розв'язуваної задачі. Багато важливих задач контактної твердості та контактних напруг вимагають, щоб підшипник розглядався саме як неідеальний. Центром АПМ розроблений універсальний метод розв'язування контактних задач, надійність і ефективність якого підтверджені результатами експериментальних досліджень.

За допомогою АПМ WinBear можна розраховувати:

- переміщення;





- найбільші контактні напруги;
- сили, що діють на тіла кочення;
- довговічність;
- втрати потужності;
- момент тертя;
- тепловиділення

Використання системи при проектуванні підшипників дає можливість конструктору механічного устаткування створювати опори кочення, оптимальні як за параметрами твердості, так і за іншими критеріями.

Модуль пропонує новий підхід до проектування підшипників – моделювання підшипника замість розрахунку одиничних параметрів

У системі APM WinBear виконується весь комплекс перевірочних розрахунків, коли за відомою геометрією підшипника розраховуються його вихідні характеристики. При визначенні вихідних характеристик застосовуються оригінальні аналітичні й чисельні підходи, а також методи математичного моделювання, що дає можливість представити результати розрахунку цих параметрів і величини їхнього статистичного розсіювання в зручному для користувача вигляді. Зокрема, можна описати поведінку підшипників у режимі реального часу, використовуючи процедуру анімації.

Весь комплекс отриманих рішень надає користувачу можливість наочно як якісно, так і кількісно оцінити придатність підшипника (чи пари підшипників) і в разі потреби намітити шляхи для підбору параметрів більш ефективних опор. Такий підхід до розрахунку й аналізу підшипників дозволяє одержати такі надійні і вичерпні результати, що не можуть бути знайдені за допомогою інших відомих у даний час систем.

У APM WinBear можна розрахувати підшипники восьми найбільш поширених типів:

- шарикові радіальні;
- шарикові сферичні;
- шарикові радіально-упорні;
- шарикові упорні;
- роликові радіальні;
- роликові сферичні;
- роликові радіально-упорні;
- роликові упорні.

За бажанням замовника до цього списку можна додати будь-який спеціальний тип підшипника.

Розподіл навантажень на тілах кочення істотно впливає на довговічність підшипника. Розрахунок на довговічність зводиться до визначення часу роботи підшипника до моменту початку викришування доріжок кочення.

Важливим параметром, що характеризує роботу підшипникових опор, є клас точності, що прямо пов'язаний з величиною зсувів вала. У залежності від типу підшипника величини цих переміщень у загальному випадку мо-

жуть мати осьові, радіальні та бічні складові.

З метою вивчення картини статистичного розсіювання вихідних параметрів в APM WinBear їхній розрахунок виконується для ста довільних положень центра підшипника (рис.10.8).

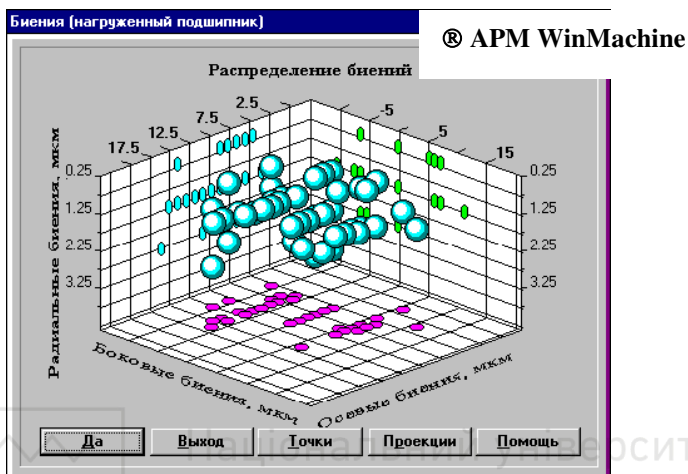


Рис.10.8. Розподіл биття в підшипнику при проектуванні в підсистемі WinBear

Результати розрахунку навантажень дозволяють також визначити серію енергетичних характеристик, від яких залежить споживання енергії та робота температура підшипника: коефіцієнт корисної дії, моменти тертя, втрати потужності при терті, тепловиділення тощо (рис.10.9).

Результати розрахунку представляються у вигляді:

- таблиці зі статистичними характеристиками;
- гістограми компонент переміщень;
- просторового поля положень центра підшипника;
- анімації руху підшипника;
- графіка, що описує зміни параметра за кутом повороту підшипника.

Відповідні форми представлення результатів розрахунку дають можливість одержати вичерпну характеристику руху підшипника. Вибір виду представлення залишається за користувачем.

Так як важливим параметром розрахунку є інформація про навантаження, що діють на тіла кочення, у системі APM WinBear передбачено наочне виведення даної інформації на екран. При бажанні користувач може обернути підшипник кочення та спостерігати за зміною цих навантажень.

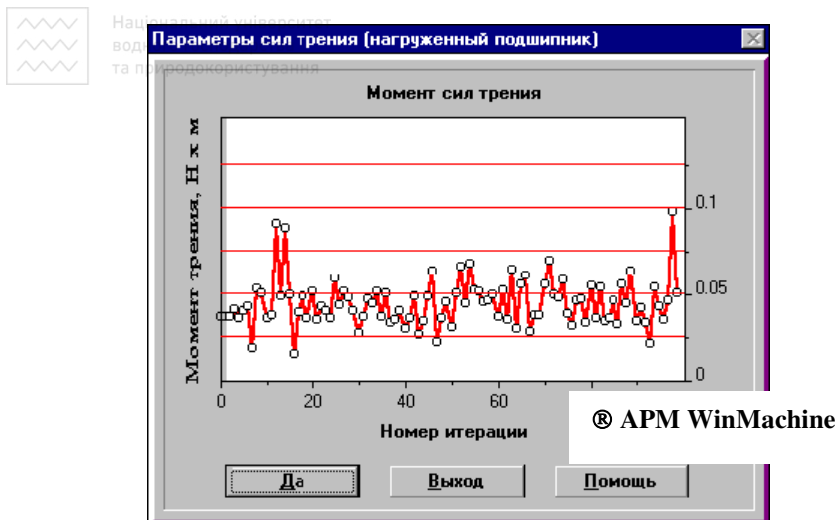


Рис.10.9. Результаты розрахунків підшипників при проектуванні в підсистемі WinBear

Система APM WinBear проста у використанні, і це видно на прикладі організації введення вихідних даних. Всі геометричні розміри підшипника можна ввести вручну, а можна скористатися базою даних, що поставляється окремо. До бази включені стандарти, що застосовуються в Росії, і в то же час вона доступна для редагування. Навантаження на підшипник вводяться з екрана в залежності від типу підшипника. Параметри точності за бажанням користувача вибираються за допомогою бази даних за заданим класом точності.

Для випадку, якщо діючі на вал зовнішні навантаження змінюються в часі, є спеціалізований графічний редактор з повним набором необхідних для введення перемінних параметрів функцій (рис.10.10).

Навантаження, що діють на підшипник, можуть бути довільними, при цьому як зовнішнє навантаження можна розглядати силу попереднього натягу. Попередній натяг у залежності від типу підшипника задається чи у вигляді прикладеного осьового (радіального) навантаження, або у виді радіальних (осьових) переміщень (рис.10.11).

Система **APM WinCam** призначена для проектування елементів кулачкового механізму за відомим законом руху (рис.10.12).

Кулачкові механізми застосовуються для перетворення обертового руху в поступальний чи коливний рух штовхача. У механізмах цього типу закон руху штовхача визначається геометричною формою кулачка і видом штовхача. Кулачкові механізми часто використовуються як пристрої керування, що задають той чи інший закон руху.

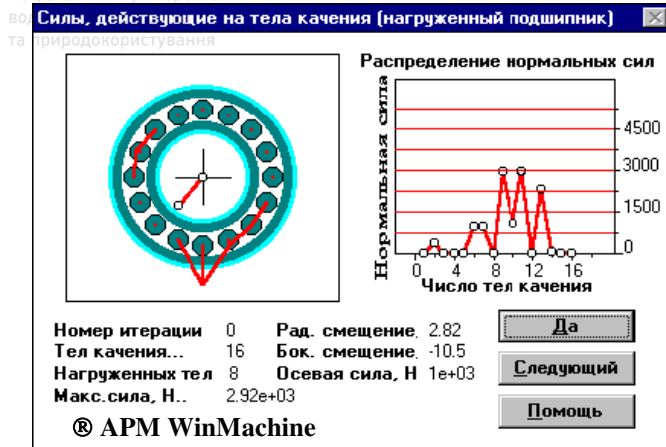


Рис.10.10. Сили, що діють на навантажений підшипник при проектуванні в підсистемі WinBear

Радиально-упорный роликовый подшипник

Условия работы

Осевая сила, Н	4000
Рад. сила на загр. опоре, Н:	10000
Рад. сила на ненагр. опоре, Н:	6000
Осевая сила преднатяга, Н	0
Скорость вращения, об/мин	100
Козф. динамичности	1

Тип установки

☒ Схема "O"  
☐ Схема "X"

Тип нагрузки

☒ Постоянная нагрузка ☐ Переменная нагрузка

Задать переменную нагрузку

Да Отмена

® APM WinMachine

Рис.10.11. Результати розрахунків підшипника при проектуванні в підсистемі WinBear

Закон руху може бути заданий одним з наступних видів:

- графік переміщення;
- графік швидкості;
- графік, що визначає зміна прискорення за кутом повороту кулачка.

Підготовка вихідних даних, таким чином, зводиться до вибору типу кулачкового механізму та заданню деяких допоміжних, у тому числі і геометричних, відомостей за матеріалами й видом закону руху.

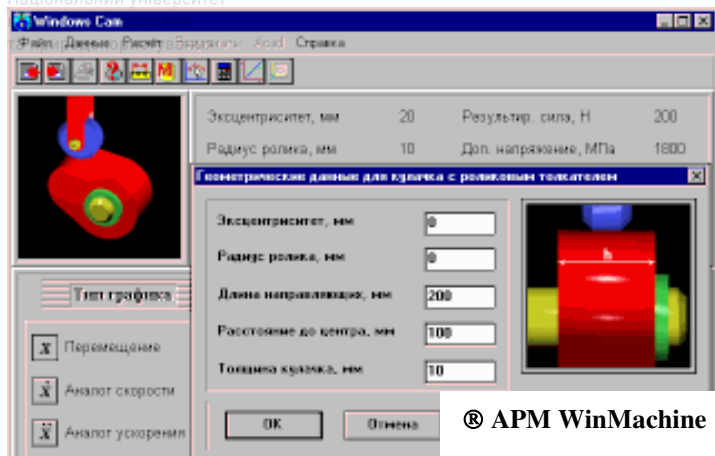


Рис.10.12. Вікно підсистеми проектування елементів кулачкового механізму WinCam

Для задання графічної інформації в системі є спеціальний інструмент, за допомогою якого можна ввести графік функції з монітора у вигляді сплайна чи у вигляді набору лінійних відрізків і будь-якої їхньої комбінації. Є можливість редагування введеної інформації з метою її модифікації.

Передбачено також введення аналітичних функцій і інформації з файлу. Для аналітичного задання функцій існує редактор аналізу й обробки аналітичних виразів.

Профіль кулачка вибирається виходячи з заданого закону руху штовхача, діаметр - з обмеження кута тиску, а товщина і радіус штовхача - з обмежень за найбільшими напруженнями у контакті.

Система APM WinCam дозволяє:

- розрахувати профіль кулачка й представити його в декартових і полярних координатах;
- визначити закон зміни вузлів тиску за кутом повороту кулачка;
- представити профіль кулачка та змоделювати його роботу, використовуючи при цьому анімаційні можливості;
- побудувати робоче креслення кулачка з метою полегшення процедури його виготовлення.

Система готує креслярську інформацію в DXF-файл, що може бути прочитана іншими системами, наприклад, КОМПАС чи AutoCAD.

Система дозволяє також виконати весь комплекс необхідних перевірочних розрахунків кулачкових механізмів.

APM WinCam дозволяє швидко і без додаткових побудов змінювати геометричні розміри та закони руху штовхача, аналізувати графіки швидкостей і прискорень штовхача. Такий підхід до проектування механізму

дозволяє для обраного випадку одержувати інформацію щодо геометричних розмірів і форми кулачка, і на основі цієї інформації, робити висновок щодо коректності ухвалення конструктивного рішення. Вона дозволяє створювати оптимальні механізми, якщо під оптимізацією розуміти процедуру послідовного редагування й аналізу (рис.10.13).

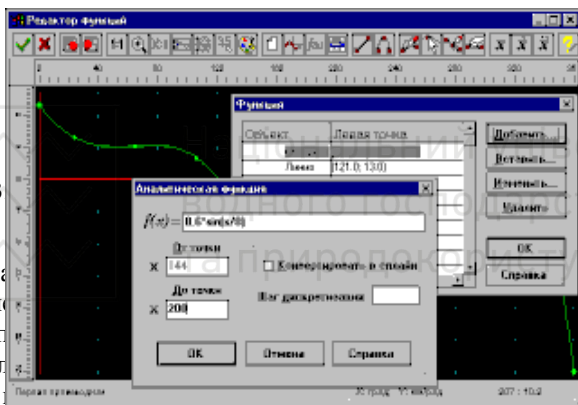


Рис.10.13

Система кінцевих елементів для розрахунку напружено-деформованого стану полів для...

Метод АРМ WinFEM2D є універсальним інструментом для аналізу напружено-деформованого стану деталей і рішення ряду інших задач механіки і теплопровідності.

АРМ WinFEM2D дозволяє виконувати:

- розрахунок напруженого стану плоских деталей;
- розрахунок деформованого стану плоских деталей;
- рішення задачі крутіння стрижня, навантаженого згинальним моментом і системою поперечних сил;
- розрахунок температурного поля в умовах стаціонарної теплопровідності.

До складу АРМ WinFem2D входить графічний редактор, за допомогою якого можна задати геометрію об'єкта, ввести прикладені до нього навантаження та розмістити закріплення. Редактор містить широкій набір примітивів і геометричних операцій, що дозволяє створювати об'єкти будь-якого ступеня складності. Навантаження та закріплення можуть бути задані як концентрованими, так і розподіленими; прикладені як у площині розташування деталі, так і в нормальній до неї. При цьому допускаються як плоскі переміщення плоскої пластини, так і просторові.

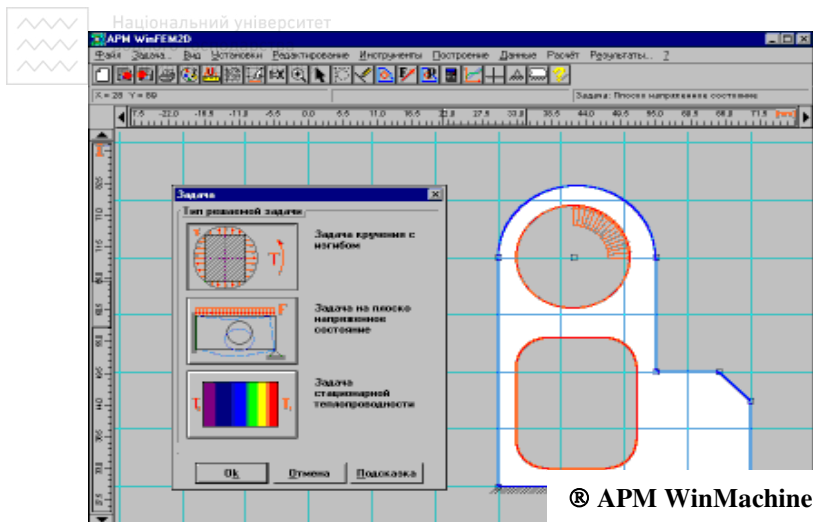


Рис.10.14. Процес виконання розрахунків методом кінцевих елементів плоских об'єктів в підсистемі WinFEM2D

В APM WinFem2D реалізована автоматична розбивка на кінцеві елементи трикутної форми для плоских об'єктів будь-якої складності.

Отримані результати можуть бути представлені або в табличній, або в графічній формах - у виді графіків розподілу деформацій і переміщень, полів температур (рис.10.15).

Підсистема **WinJoint** призначена для розрахунку та проектування з'єднань машин і елементів конструкцій, яка дозволяє виконати комплексний розрахунок усіх типів різьбових, зварних, заклепкових з'єднань і з'єднань деталей обертання.

APM WinJoint - це програма розрахунку і проектування з'єднань. Вона дозволяє виконати комплексний розрахунок і аналіз з'єднань, що найбільше часто використовуються в машинобудуванні і будівництві. Застосування системи при розробці виробів нової техніки значно скорочує час проектування зазначених вище об'єктів, підвищує надійність їх розрахунків і дозволяє вибрати з безлічі варіантів раціональні значення параметрів.

Система дозволяє розрахувати групові нарізні з'єднання, поставлені в отвір із зазором і без, встановлені в довільному порядку і призначені для з'єднання довільних поверхонь.

При цьому як елементи кріплення можуть бути розраховані болти, гвинти та шпильки, що працюють при довільному зовнішньому навантаженні; зварні з'єднання при довільному зовнішньому навантаженні та довільному розміщенні зварних швів наступних типів:

- стикові;
- таврові;





Національний університет

водного господарства

- з'єднання, виконані точковим зварюванням;
- заклепувальні з'єднання довільного розміщення і при довільному плоскому навантаженні;
- з'єднання деталей обертання, конструктивно виконані як:
- з'єднання з натягом циліндричної чи конічної форм;
- шлицьові чи шпонкові з'єднання різних типів;
- штифтові радіальні й осьові з'єднання;
- з'єднання конічними кільцями;
- клемові з'єднання різного конструктивного виконання;
- профільні з'єднання різних модифікацій.

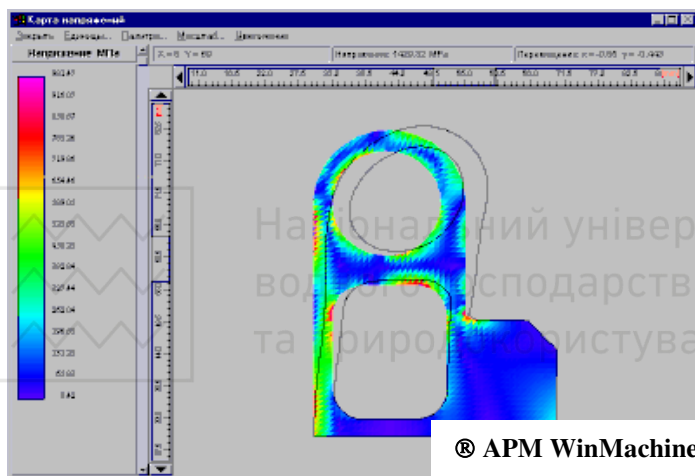


Рис.10.15. Результати виконання розрахунків методом кінцевих елементів плоских об'єктів в підсистемі WinFEM2D

Підсистема APM WinJoint дозволяє виконувати всі необхідні для обраного типу з'єднання розрахунки (у формі перевірконого та проектувального).

Під проектувальним розрахунком розуміється комплекс обчислень для визначення основних геометричних розмірів з'єднання, а при перевірконому розрахунку знаходяться значення коефіцієнтів запасу. При цьому критеріями розрахунку різьбових з'єднань є: умова відсутності здвигу та розкриття з'єднаних поверхонь, а також статична та залишкова міцність елементів з'єднання. Зварні шви розраховуються з умови статичної та залишкової міцності, а заклепувальні - з умови міцності при постійному навантаженні. Критерієм розрахунку з'єднань деталей обертання може бути (у залежності від типу): умова відсутності зрушення; умова появи зазорів у сполучених поверхнях; статична й залишкова міцність елементів з'єднання, а також сукупність цих критеріїв (рис.10.16).

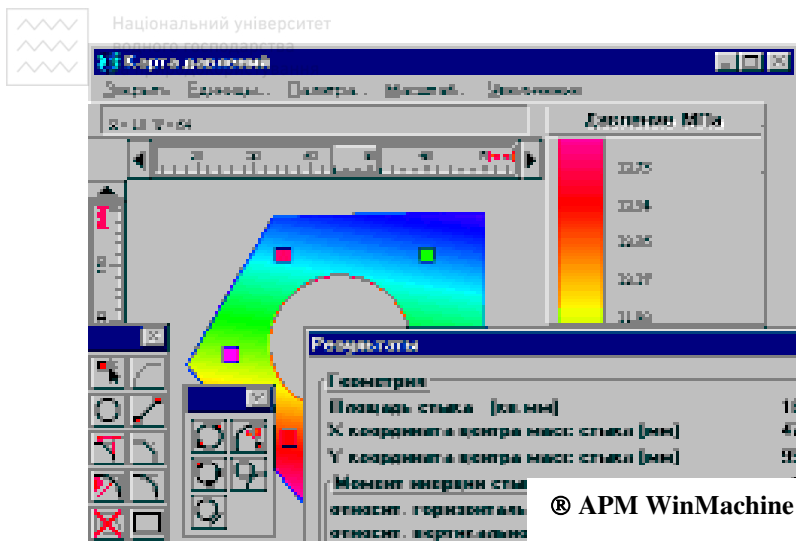


Рис.10.16. Картина навантажень, що виникають в зварному з'єднанні при його проектуванні в підсистемі WinJoint

Підсистема **APM WinPlain** призначена для здійснення всебічних розрахунків підшипників ковзання. Використовуючи цю систему, користувач зможе розрахувати основні характеристики підшипників і вибрати оптимальні конструкції підшипникових вузлів (рис.10.17).

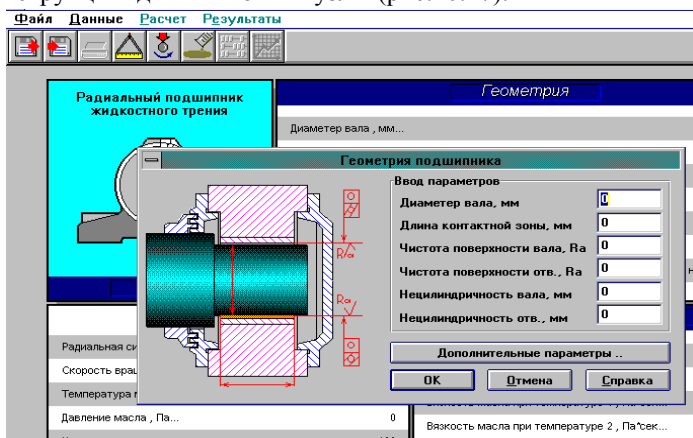


Рис.10.17. Вікно підсистеми для розрахунку та проектування підшипників ковзання WinPlain

Підшипники ковзання - важливий тип опор обертання, що часто застосовується в конструкціях, які працюють у складних умовах, а саме при:

високих вібраційних і ударних навантажень; низьких і особливо високих частотах обертання; підвищених вимогах до стабільності й точності положення валів; роботі у воді й агресивних середовищах; недостатньому мащенні чи взагалі без мащення тощо. Надійність роботи підшипників визначає працездатність і довговічність машин.

АПМ WinPlain являє собою систему розрахунку підшипників ковзання, розроблену в Центрі “Автоматизоване Проектування Машин”.

АРМ WinPlain дозволяє розраховувати підшипники наступних типів:

- радіальні, працюючі в режимі рідинного тертя;
- радіальні, працюючі в режимі напіврідинного тертя;
- упорні (підп'ятники), що працюють у режимі рідинного тертя.

За допомогою системи АРМ WinPlain можуть бути визначені:

- розподіл радіальних і осьових зазорів;
- оптимальне значення зазору;
- параметри системи мащення (товщина змащувальної плівки, максимальна та середня температура масла, витрата масла);
- дійсний коефіцієнт тертя та втрати на тертя;
- конструкційні параметри.

Критерієм розрахунку підшипників рідинного тертя є умова, при якій товщина зазору між поверхнями, що знаходяться у відносному русі, є не меншою за деяку задану припустиму величину.

Для підшипників напіврідинного тертя аналогічний критерій формулюється як вимога стосовно робочої температури підшипника - вона повинна бути меншою за допустиму для даного типу масла.

Розрахунок підшипників рідинного тертя виконується шляхом розв'язку рівняння Рейнольдса та рівняння рівноваги. При цьому рух рідини в зазорі вважається ламінарним.

Методика розрахунку підшипника, що працює в умовах напіврідинного тертя, оснований на дослідженні процесу тепловиділення при терті та рішенні рівнянь теплопередачі (рис.10.18).

Підсистема **WinScrew** призначена для розрахунку неідеальних передач поступального руху. За її допомогою можна розраховувати гвинтові передачі ковзання, шарико-гвинтові та планетарні гвинтові передачі (рис.10.19).

Гвинтові передачі використовуються для перетворення обертального руху гвинта в поступальний рух гайки. Механізми такого типу широко використовуються у верстатобудуванні, робототехніці, приводних механізмах, авіаційній техніці й інших областях сучасного машино- й приладобудування.

Проте при проектуванні цих об'єктів виникає багато проблем, рішення яких можливо за допомогою системи автоматизованого розрахунку і проектування гвинтових передач АРМ WinScrew.

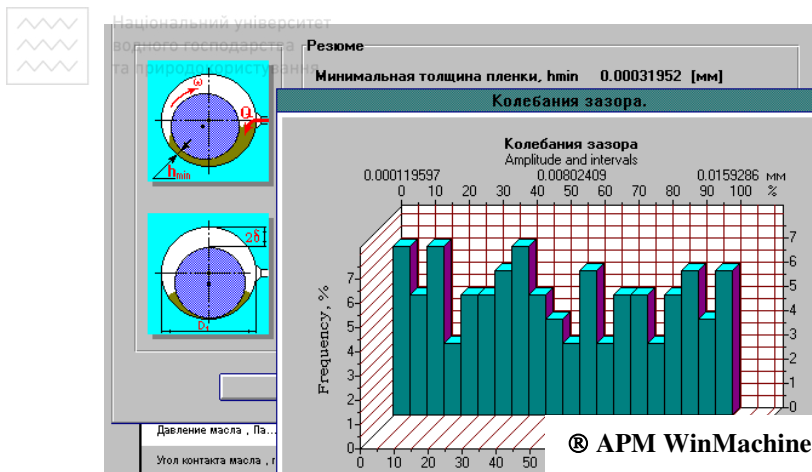


Рис.10.18. Результати розрахунків підшипників ковзання WinPlain

APM WinScrew - це оригінальна програма для розрахунку гвинтових передач. Вона дозволяє провести комплексний аналіз цих передач і розрахувати їхні основні параметри, а також вибрати оптимальні.

Основою APM WinScrew є теорія неідеального контакту. Головною перевагою підсистеми APM WinScrew є те, що з її допомогою можна врахувати вплив погрешностей виготовлення на параметри гвинтової передачі. Це стало реальним завдяки новій теорії неідеального контакту, розробленої в Центрі АПМ і застосовної для широкого кола елементів машин і механізмів, таких як підшипники кочення, гвинтові передачі, плоскі з'єднання, направляючих кочення та ковзання тощо.

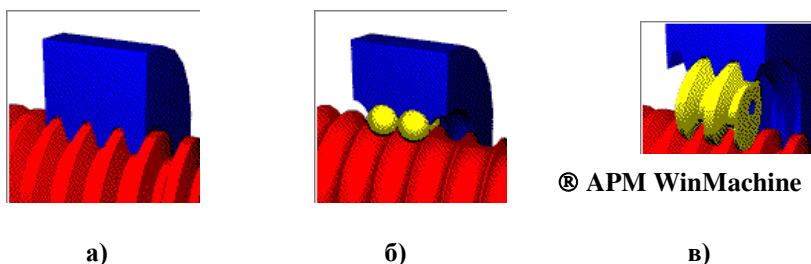


Рис.10.19. Типи гвинтових передач, які розраховуються в підсистемі WinScrew: а) – гвинтова передача ковзання; б) - шариковинтова передача; в) планетарна гвинтова передача

Використання теорії неідеального контакту дозволяє одержати надійні значення контактних переміщень, твердості, напруг і інших параметрів, що



залежать від контактних деформацій, таких як довговічність, момент тертя, втрати потужності тощо.

За допомогою APM WinScrew можна розрахувати наступні параметри:

- переміщення (жорсткість);
- довговічність;
- момент тертя;
- найбільші контактні напруги;
- втрати потужності;
- тепловиділення;
- сили, що діють на тіла кочення;
- коефіцієнт корисної дії;
- помилки позиціонування.

Завдяки наявності в контактуючих поверхнях шорсткостей і погіршеності форми взаємодія гвинта, гайки та тіл кочення носить випадковий характер і може бути коректно описана тільки з залученням імовірнісних методів. Застосування APM WinScrew надає користувачу повну та вичерпну картину тих процесів, що відбуваються при роботі гвинтової передачі. Система WinScrew дозволяє змодельовати поведінку гвинтової передачі в будь-яких наперед заданих умовах. Для реалізації цього розраховується велика серія значень параметрів, що наочно показує процес їхньої зміни. За результатами такого моделювання можна визначити не тільки математичне чекання вихідних характеристик, але й максимальні відхилення, поля розсіювання тощо.

За допомогою APM WinScrew можуть бути розраховані найбільш широко розповсюджені типи гвинтових передач: гвинтова передача ковзання, шарикова гвинтова передача та планетарна гвинтова (роликів гвинтова) передача. Для шарикогвинтових передач розраховуються два підтипи - з однією гайкою та з двома напівгайками (який експлуатується з преднатягом).

Жорсткість і контактні переміщення описують поведінку елементів механічних пристроїв під дією зовнішнього навантаження. Якщо параметри жорсткості відомі, то це дає проектувальнику ключ до визначення безлічі інших параметрів.

В залежності від типу гвинтової передачі переміщення може мати до трьох компонентів - осьове, радіальне та бічне. В APM WinScrew розраховується масив з 100 можливих положень центра гайки гвинтової передачі. За допомогою цих даних визначаються осьова, радіальна та кутова жорсткості при будь-якому можливому варіанті зовнішнього навантаження. Під довільним зовнішнім навантаженням розуміється навантаження осьовим і радіальним навантаженнями, а також зовнішнім моментом.

Деформаційні характеристики представляються розсіяними в одно-, дво- чи тривимірному просторі.

Для кожного з розглянутих положень центра розраховуються значення моменту тертя та втрат потужності, а також сил, що діють на тіла кочення.

Результати розрахунку представляються різними способами, а саме у

- таблиці зі статистичними характеристиками (рис.10.20);
- гістограми компонент переміщень;
- просторові поля положень центра гайки;
- анімації руху гайки.

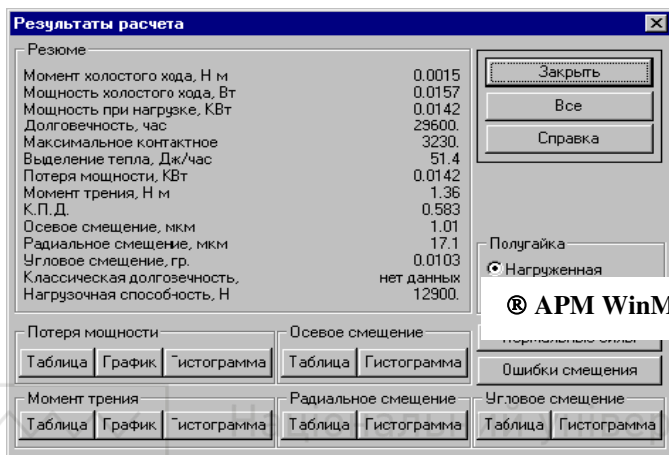


Рис.10.20. Результати розрахунку гвинтової передачі, виконаного в підсистемі WinScrew

Відповідні форми представлення дають можливість отримати вичерпну характеристику руху гвинтової передачі.

В процесі обертання гвинтової передачі її тіла кочення (чи сателіти у випадку планетарного передавального механізму) сприймають дію нормальних сил, прикладених з боку доріжок кочення та які залежні від геометрії й точності підшипника, характеру зовнішнього навантаження тощо.

Існуючі в даний час підходи до силового розрахунку основані на спрощених моделях, що значно впливає на точність одержуваних рішень. Використаний у системі APM WinScrew метод дозволяє одержати більш реальну картину розподілу навантажень на тілах кочення та їхньої зміни при повороті, що набагато підвищує точність розрахунків.

Розраховані в APM WinScrew сили, що діють на тіла кочення, можуть бути відображені у вигляді епюри чи у вигляді графіка (рис.10.21).

За допомогою APM WinScrew можна визначити наступні величини, що характеризують діючі на передачу сили тертя:

- момент тертя;
- втрати потужності;
- тепловиділення;
- коефіцієнт корисної дії.

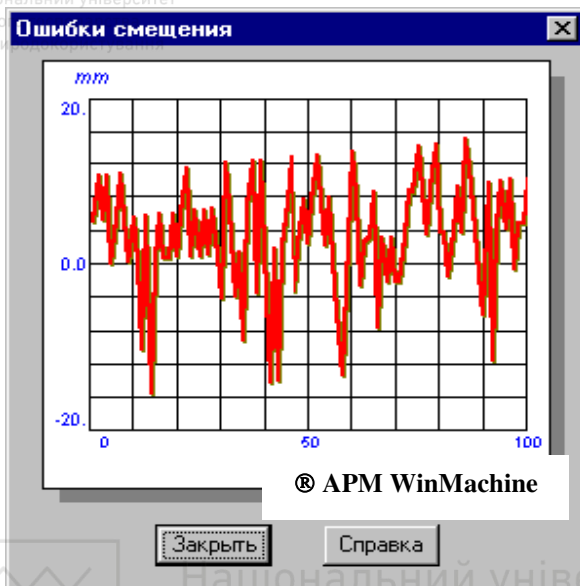


Рис.10.21. Представлення помилок зміщення при розрахунках гвинтової передачі в підсистемі WinScrew

Момент тертя і втрати потужності розраховуються як масив із 100 значень, що дає можливість оцінити особливості розподілу цих параметрів. Результати представляються у виді таблиць, гістограм або графіків.

Виділення тепла - це інтегральний параметр, що характеризує кількість тепла, що виділилося в підшипнику в результаті дії сил тертя за 1 годину.

В APM WinScrew розрахунки можуть бути виконані для будь-якої комбінації осьової та радіальної сил і моменту вигину, а також осьового та радіального преднатягу, припустимих для гвинтової передачі того типу, що розглядається. При розрахунку довговічності зовнішні навантаження можна розглядати перемінними в часі, для чого в системі є спеціалізований графічний редактор.

При проведенні розрахунків необхідне знання тільки значень допусків, що дозволяє використовувати APM WinScrew на стадії проектування нового обладнання. Виконавши серію обчислень, можна підібрати раціональні розміри передачі та значення оптимального попереднього натягу.

Підсистема **WinShaft** призначена для розрахунку, аналізу та проектування валів і осей (рис.10.22).



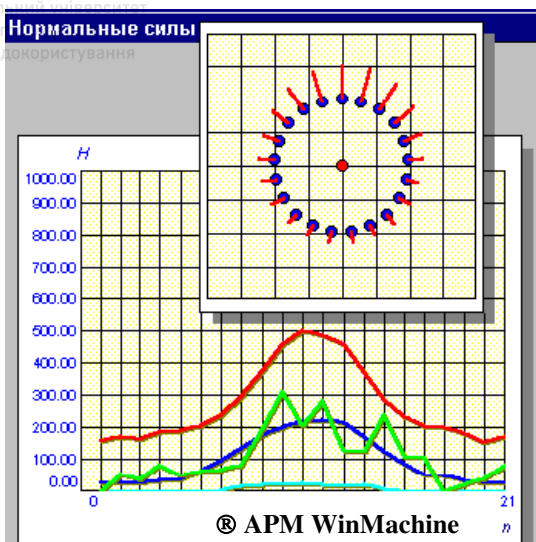


Рис.10.22. Представлення розрахованих в APM WinScrew сил, що діють на тіла кочення

Вали призначені для підтримки обертових деталей і передачі моменту обертання. Вони відносяться до числа найбільш відповідальних деталей машин, тому до них пред'являються високі вимоги з точності виготовлення, міцності, твердості, стійкості та характеру коливань. Система APM WinShaft дозволяє виконати весь цикл проектування валів і осей, починаючи від розробки конструкції й закінчуючи повним статичним і динамічним розрахунком.

APM WinShaft являє собою програму для розрахунку й проектування валів і осей (рис.10.23).

За допомогою APM WinShaft можна розрахувати:

- реакції в опорах валів;
- епюри моментів вигину й кутів вигину;
- епюри моментів крутіння й кутів закручування;
- деформований стан вала;
- напружений стан при статичному навантаженні;
- коефіцієнт запасу залишкової міцності;
- розподіл поперечних сил;
- власні частоти та власні форми вала.

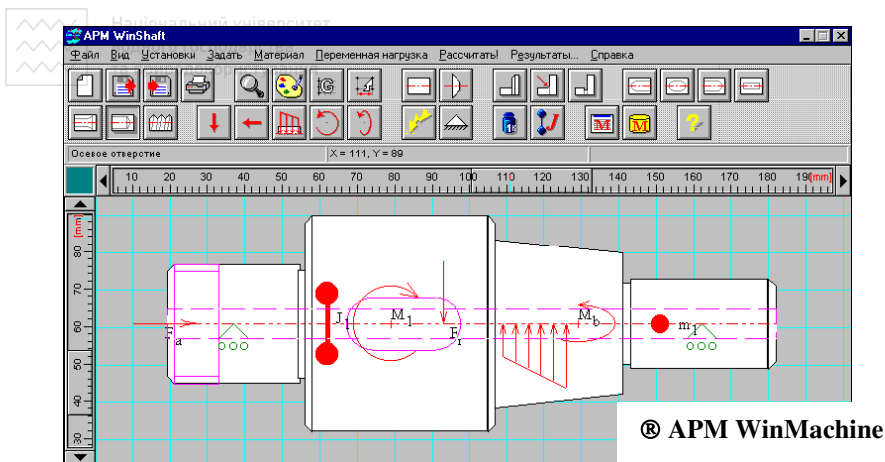


Рис.10.23. Вікно підсистеми розрахунку, аналізу та проектування валів і осей APM WinShift

Система APM WinShift має спеціалізований графічний редактор для задання геометрії валів і осей. Редактор надає в розпорядження користувача гнучкі та зручні засоби для:

- задання конструкції вала;
- вводу навантажень, що діють на вал;
- розміщення опор, на яких встановлений вал.

Основна відмінність графічного редактора валів системи APM WinShift від традиційних полягає в спеціальному наборі примітивів, з якими він оперує. Примітиви APM WinShift - це основні елементи конструкції вала (циліндричні й конічні ділянки, фаски, галтелі, канавки, отвори, ділянки з різьбою, шпонки, шліци тощо), а також навантаження, що можуть діяти на чи вал опору. Такий підхід значно спрощує введення та редагування геометрії вала й інших даних, необхідних для виконання розрахунків.

Напружений і деформований стани вала розраховуються методами опору матеріалів. Так, деформований стан описується методом Мора, а розкриття статичної невизначеності виконується методом сил. Статична міцність оцінюється за еквівалентними напругами, отриманими енергетичним методом. Динамічні характеристики, такі як власні частоти та власні форми, визначаються методом початкових параметрів (рис.10.24).

До складу системи входить локальна база даних матеріалів, що містить необхідні для розрахунку вала параметри, такі як модуль Юнга, коефіцієнт Пуасона, щільність тощо (рис.10.25).

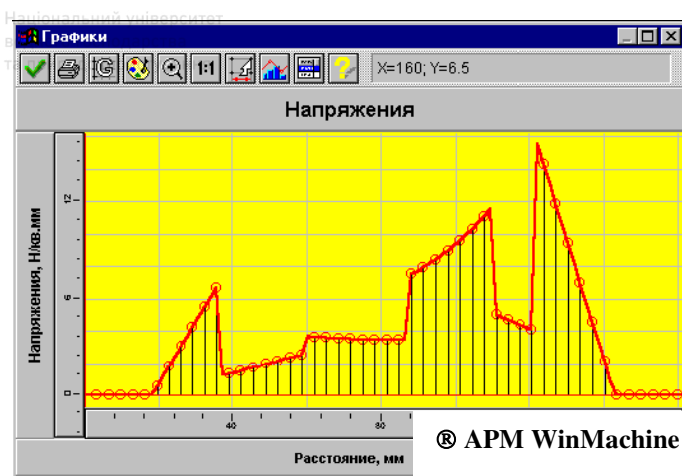


Рис.10.24. Результаты розрахунків в підсистемі APM WinShaft

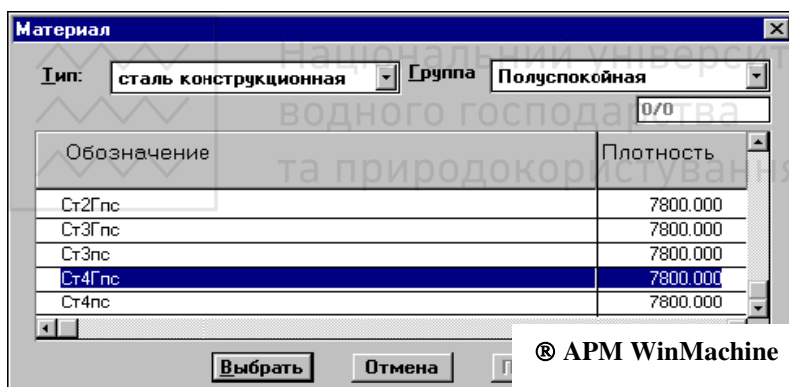


Рис.10.25. Вікно локальної бази даних матеріалів підсистеми APM WinShaft

Підсистема **WinSlider** призначена для комплексного аналізу плоских підйомних механізмів довільної геометричної структури. Вона дозволяє виконувати весь комплекс необхідних перевірочних розрахунків для попередньо введенного механізму (рис.10.26). Даний комплекс включає :

- розрахунок траєкторій руху довільної точки механізму;
- розрахунок швидкостей та прискорень довільної точки механізму;
- перерозподіл реакцій у шарнірних з'єднаннях ланок;
- розрахунок динамічних навантажень;
- наявність повертання в механізмі.

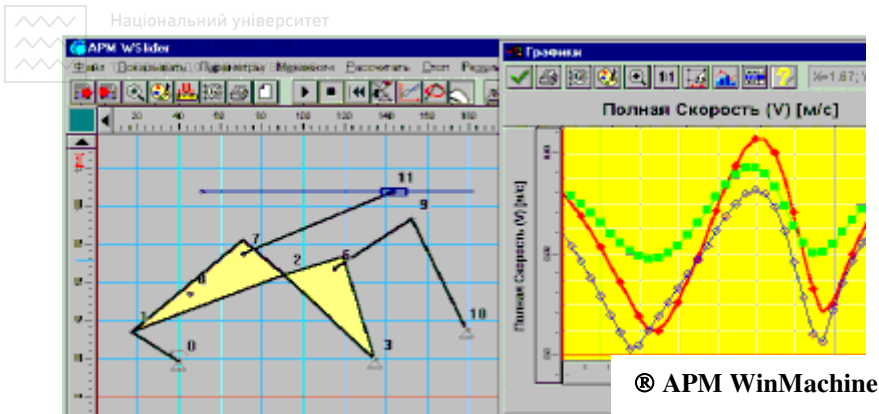


Рис.10.26. Вікно підсистеми комплексного аналізу плоских підйомних механізмів довільної геометричної структури WinSlider

Для реалізації цих можливостей у системі є спеціалізований редактор, який дозволяє:

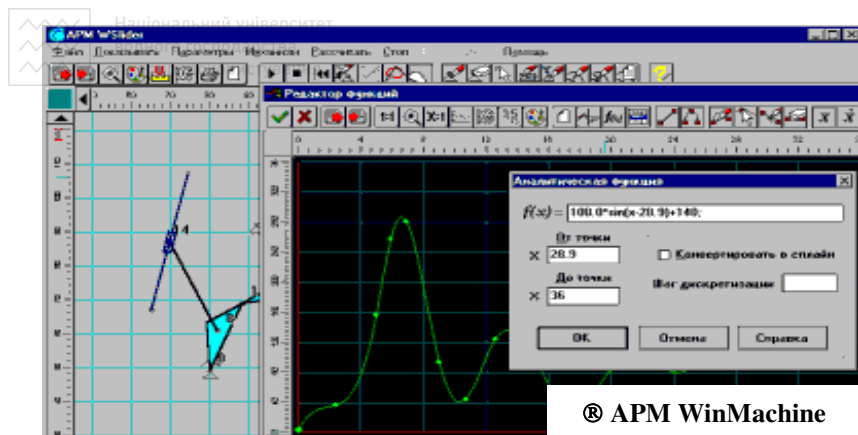
- задавати геометрію механізму в параметризованому вигляді;
- редагувати задану геометрію та змінювати її;
- задавати закон руху ведучої ланки у вигляді графіка побудованого за точками чи у вигляді задання аналітичної функції;
- задання зовнішніх силових факторів;
- анімаційне представлення роботи механізму в режимі реального часу.

Під геометрією механізму розуміється формування його дріткової моделі яка являє собою довільну комбінацію чотирьохланкових, шестиланкових механізмів, а також повзунних і кулісних механізмів. Крім того дрітова модель ланки такого механізму може бути доповнена довільною геометрією, що трактується як тіло на поверхні якого можна вказати будь-яке число точок (шарнірів). Ці точки можна використовувати як об'єкти для аналізу, або для приєднання наступних ланок.

Як ведучу ланку підйомного механізму можна приймати обертальний рух одної з ланок, або поступальний рух однієї з них.

Для аналізу результатів у системі передбачений візуалізатор графічної інформації який дозволяє наочно представити отримані результати з метою їхнього аналізу й обробки (рис.10.27).

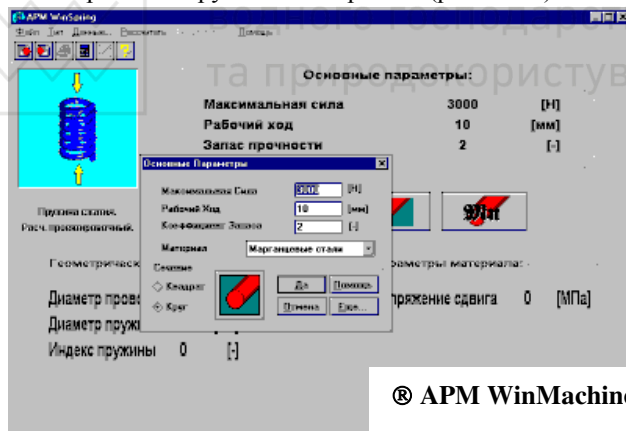
АПМ WinSlider дозволяє швидко і без додаткових побудов змінювати геометричні розміри системи та її зміст. Такий підхід до проектування механізму дозволяє, для обраного випадку, одержувати інформацію для аналізу механізму й на її основі робити висновок щодо коректності ухвалення конструктивного рішення. Вона дозволяє створювати оптимальні механізми, якщо під оптимізацією розуміти процедуру ручного редагування й аналізу.



® APM WinMachine

Рис.10.27. Вікно підсистеми WinSlider з візуалізатором графічної інформації

Підсистема **WinSpring** призначена для розрахунку та проектування пружин і інших пружних елементів машин. З її допомогою можна розрахувати та викреслювати пружини стиснення, розтягу й кручення, плоскі пружини, а також тарілчасті пружини та торсіїони (рис.10.28).



® APM WinMachine

Рис.10.28. Вікно підсистеми розрахунку та проектування пружин і інших пружних елементів машин WinSpring

Пружними елементами називають деталі, що мають високу піддатливість при мінімальних розмірах. Вони використовуються як навантажувальні пристрої, що розсіюють енергію ударів і поштовхів амортизаторів і пристроїв для нагромадження енергії. Амортизатори відіграють важливу роль у роботі сучасних машин, збільшуючи їхню довговічність за рахунок демпфирования коливань і керування резонансними частотами механічних систем.



Система APM WinSpring дозволяє виконувати проектувальний і перевірочний розрахунки пружних елементів і одержувати креслення розрахованих деталей. Під проектувальним розрахунком розуміють визначення геометричних розмірів пружних елементів за відомим значенням зовнішніх сил і деформацій. Перевірочний розрахунок дозволяє визначити запаси міцності пружних елементів у залежності від їхніх геометричних розмірів.

Системою APM WinSpring передбачене проектування наступних типів пружних елементів машин:

- циліндричних пружин розтягання круглого й прямокутного поперечних перерізів;
- циліндричних пружин стиснення круглого й прямокутного поперечних перерізів;
- циліндричних пружини крутіння круглого й прямокутного поперечних перерізів;
- тарілчастих пружин стиснення;
- плоских прямокутних пружин;
- торсіонів.

Розрахунки виконуються в умовах дії як постійних, так і перемінних в часі навантажень. Основними є розрахунки на статичну міцність при постійному навантаженні та на витривалість при перемінному характері навантажень. Крім того, можливий розрахунок пружин методом кінцевих елементів.

Проектувальні та перевірочні розрахунки проводяться аналітичними методами опору матеріалів. Для більш складних випадків навантаження та закріплення можна використовувати підсистему APM WinFrame3D, що викликається з APM WinSpring. Розрахунок пружних елементів у середовищі APM WinFrame3D виконується методом кінцевих елементів, причому як візуалізація геометричного зображення пружини так і розбивка на кінцеві елементи виконується автоматично. У результаті користувач одержує повну картину напружено - деформованого стану пружного елемента.

Після виконання перевірочного та проектувального розрахунків є можливість генерації креслення, що надалі може бути використане в графічних системах, які підтримують формат DXF.

Підсистема **APM WinStructure 3D** призначена для комплексного аналізу тривимірних протяжних (стрижневих, пластинчастих, оболончастих) конструкцій (рис.10.29).

Протяжними називаються такі конструкції, один з геометричних параметрів яких (в якості цих параметрів можуть виступати такі величини, як довжина, товщина й площа поперечного перерізу) набагато менший за інші. До категорії протяжних можна віднести всі об'єкти, крім тих, геометричні розміри яких у напрямку різних координатних осей близькі. Так, у розряд протяжних попадають усі можливі варіанти будівельних і переважна більшість машинобудівних конструкцій.

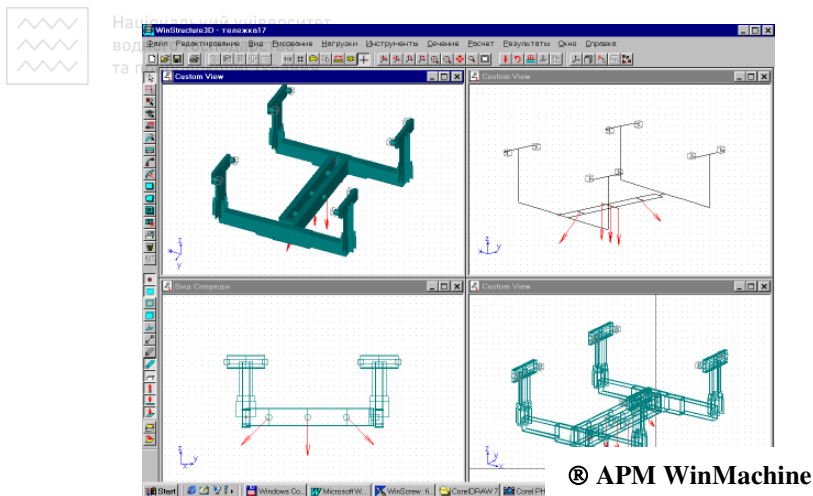


Рис.10.29. Вікно підсистеми комплексного аналізу тривимірних протяжних конструкцій APM WinStructure 3D

Під комплексним аналізом розуміється розрахунок напружено - деформованого стану чисельних об'єктів довільної геометричної форми при довільному навантаженні та закріпленні, а також ряд інших розрахунків. Аналіз отриманих результатів дозволяє вибрати найкращі конструктивні рішення.

Модуль організований таким чином, що в його рамках можна розрахувати все різноманіття існуючих конструкцій, збираючи їх з перерахованих вище макроелементів. Зовнішнє навантаження, також як і умови закріплення конструкції, можуть бути довільними як за характером, так і за місцеположенням.

Розрахунок напружено - деформованого стану протяжних конструкцій виконується методом кінцевих елементів. При необхідності застосовуються також інші методи будівельної механіки. Як кінцеві елементи можна використовувати на вибір елементи прямокутної, чотирикутної й трикутної геометричних форм. Число кінцевих елементів і, отже, час розрахунку встановлюється користувачем. Загальна кількість кінцевих елементів обмежена винятково можливостями комп'ютерної техніки користувача.

Розбивка на кінцеві елементи виконується автоматично. У результати автоматичної розбивки, у разі потреби, можна внести виправлення в режимі ручного введення.

Для ефективної реалізації розрахункових і графічних процедур у підсистемі є тимчасовий інтерфейс спеціалізованого призначення. Він включає:

- графічний редактор задання конструкцій як комбінацій зі стрижнів і пластин;
- візуалізатор просторового представлення моделі;
- редактор задання плоских перетинів стрижневих елементів;





- редактор задання навантажень, умов закріплення та механічних характеристик елементів конструкції ;
- візуалізатор результатів розрахунку.

До складу системи входить бібліотека стандартних профілів і бази даних за матеріалами та їхніми характеристиками. Передбачений також імпорт поперечного перерізу зі стороннього графічного редактора, в якому є можливість генерації DXF - форматів.

Підсистема APM WinStruct3D дозволяє розраховувати величини напруг і деформацій у кожній точці конструкції як з обліком зовнішнього навантаження, так і з урахуванням власної ваги кожного з елементів. Крім того, є можливість розрахунку стійкості конструкції, а також автоматичного визначення ваги всіх її конструктивних елементів і конструкції в цілому. APM WinStruct3D дозволяє визначити невідомі силові фактори в кожному з вузлів і внутрішні силові фактори в межах кожного кінцевого елемента. Ця інформація може бути використана надалі для розрахунку зварних, групових різьбових або заклепувальних з'єднань. Результати розрахунків за допомогою візуалізатора спеціального виду представляються в колірній гамі, у вигляді ізоліній чи в формі епюр напруг, моментів, сил, деформацій тощо.

Інтерфейсна частина, призначена для демонстрації результатів розрахунку, проста, доступна в розумінні, зручна в роботі, а головне, сильно полегшує аналіз отриманих результатів і сприяє прийняттю правильних рішень.

Інтерфейс включає візуалізатори:

- напружено - деформованого стану моделі;
- розподілу напружено - деформованого стану системи в будь-якому поточному перетині будь-якого елемента конструкції;
- силових факторів і деформацій (лінійних і кутових) у вузлових точках;
- графіків функцій, що описують закони моментів вигину і крутіння, напруг і деформацій, поперечних сил тощо по довжині кожного з вхідних до складу конструкції стрижнів.

У режимі друку результатів розрахунку користувачу надана можливість збереження цього результату в вигляді твердої копії; передбачений також режим висновку в RTF - форматі, що може бути прочитаний сучасними текстовими редакторами, що, в свою чергу, дозволяє в подальшому сформувати документ у зручній для користувача формі.

Широке застосування ряду спеціалізованих редакторів істотно полегшує роботу конструктора. Наприклад, задання геометрії спрощується за рахунок застосування дротових і пластинчастих моделей конструкцій. Для детального прорисовування можна використовувати режим об'ємного моделювання твердої моделі. Передбачений у системі й режим візуалізації поперечного перетину для кожного з обраних елементів стрижня. При практичній роботі із системою можна звертатися до безлічі вмонтованих в інтерфейс контекстних підказок, що також сприяє взаєморозумінню користувача з машиною.

Підсистема **WinTrans** призначена для проектування передач обертання



- всіх типів зубчастих передач, а також черв'ячних, пасових і ланцюгових передач, і виконання креслень елементів цих передач в автоматичному режимі (рис.10.30).

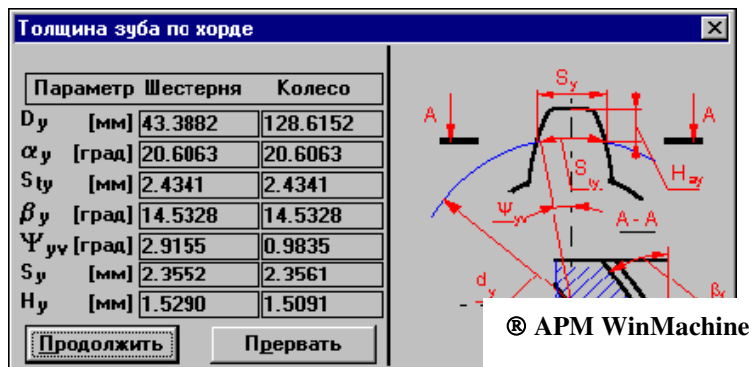


Рис.10.30. Вікно підсистеми проектування передач обертання WinTrans

Процес проектування з використанням APM WinTrans зводиться до підготовки вихідних даних і аналізу отриманого результату. При цьому досягається висока якість як за рахунок колосального прискорення цієї роботи, так і за рахунок можливості вибору оптимальних параметрів, що реалізується шляхом аналізу багатьох варіантів рішень. Робота з APM WinTrans не вимагає знань десятків книг і методик. При цьому знижуються вимоги до кваліфікації користувача. Передбачається, що він повинний бути знайомий із суттю проблеми на рівні понять і визначень. Інші питання бере на себе комп'ютер.

За допомогою APM WinTrans можна виконувати весь комплекс конструкторських і технологічних розрахунків (як проектувальних, так і перевірочних) передач обертального руху, а також викреслювати робочі креслення основних деталей цих передач в автоматичному режимі.

За допомогою APM WinTrans можна проектувати наступні типи передач:

- циліндричні з прямим зубом як зовнішнього, так і внутрішнього зачеплення;
- циліндричні з косим зубом зовнішнього зачеплення;
- шевронні;
- конічні з прямим і круговим зубами;
- черв'ячні;
- пасові;
- ланцюгові.

При проектувальному типі розрахунку відомими вважаються вихідні кінематичні й енергетичні параметри, а результатом є визначення геометричних розмірів передачі при обраних матеріалах і термообробці. Для виконання розрахунку необхідно вказати наступні вихідні параметри передачі: крутний мо-



мент, ресурс, умови роботи, передатне відношення тощо. Спираючись на ці дані, APM WinTrans розраховує всі геометричні параметри передачі.

Всі ці розрахунки проводяться в умовах як постійного, так і перемінного режимів реального навантаження. Облік перемінного характеру навантаження в APM WinTrans здійснюється або у вигляді нормального перемінного режиму, або за допомогою спеціального інструмента для інтерактивного задання таких режимів.

В основу проектувального й перевірного розрахунків покладені наступні критерії:

- циліндричні і конічні зубчасті передачі, а також черв'ячні розраховуються за критеріями залишкової контактної міцності та залишкової міцності на вигин;
- критерієм розрахунку ланцюгових передач є зносостійкість шарнірів ланцюга;
- розрахунковим критерієм при проектуванні пасових передач є навантажувальна здатність і довговічність паса.

Додатково можна накласти обмеження на передачу, що розраховується. Наприклад, розрахувати передачу з необхідною міжосьовою відстанню чи іншим яким-небудь параметром.

Результатом розрахунку зубчастої передачі за допомогою APM WinTrans є повний перелік параметрів, необхідних при проектуванні, а саме:

- геометричні параметри елементів передач;
- сили, що діють на вали від передач;
- діючі напруги й величини напруг, що допускаються;
- весь спектр параметрів контролю якості виготовлення;
- параметри якості передачі;
- робочі креслення ведучого і веденого елементів передачі.

За допомогою APM WinTrans можна перевірити несучу здатність відомої передачі (тобто передачі з заданими геометричними параметрами, умовами роботи, термообробкою коліс тощо). Несуча здатність оцінюється за двома критеріями:

- за ресурсом роботи передачі при заданому крутному моменті;
- за максимальним крутним моментом при заданому ресурсі.

APM WinTrans надає користувачу всі необхідні дані для перевірки якості виготовлення елементів передачі. Для циліндричних передач параметри контролю поділяються на:

- параметри торцевого профілю зубів;
- параметри постійної хорди;
- параметри загальної нормалі;
- параметри за товщиною хорди;
- параметри контролю за роликками;
- параметри перевірки положення різноіменних профілів зубів;
- параметри якості зачеплення.



У системі APM WinTrans можна створювати робоче креслення елементів передачі, що розраховується. Креслення зберігається у форматі DXF.

При підготовці креслення в системі є можливість:

- змінювати, у відомих межах, конструкцію передачі й уточнювати конфігурацію деталі, що зображується та інших елементів креслення за допомогою інтерактивного діалогу, що передусь процедурі генерації;
- проставляти граничні відхилення розмірів і вказувати технічні вимоги креслення;
- заповнювати головний напис креслення тощо.

Все це задається в залежності від нормативних параметрів і вимог стандартів. Якщо комп'ютері користувача встановлений AutoCAD™, то його можна викликати безпосередньо із системи WinTrans для остаточного редагування креслення та подальшого друку.

Для виконання комплексу розрахунків на міцність і геометричних розрахунків передач, а також розрахунків навантажувальної здатності й зносостійкості розроблена спеціальна процесорна частина системи, у якій використовується велика кількість стандартних і нормативних параметрів, а також єдині для системи APM WinMachine бази даних, що працюють під керуванням СУБД, побудованої на базі DB Vista. Це дозволяє без зайвих зусиль редагувати й доповнювати наявні стандартні параметри. Крім того, в APM WinTrans реалізована можливість роботи з декількома державними і галузевими стандартами і стандартами підприємств.

Важливим розділом при проектуванні зубчастих передач є процедура імітації процесу нарізування зубів зубчастих коліс методом обкатки. Ця процедура дозволяє одержати форму зуба колеса й шестерні виходячи з параметрів інструментальної рейки та величин заданого зсуву. При цьому можна контролювати форму й фактичні розміри зуба колеса і шестерні. Крім цього, у системі є можливість моделювання процесу зачеплення, що особливо важливо для передач внутрішнього зачеплення, для яких завжди є небезпека інтерференції (рис.10.31) та можливість анімації процесу (рис.10.32).

Змінюючи вихідні параметри, накладаючи чи знімаючи обмеження, користувач може оптимізувати передачу, що проектується. У цьому випадку система служить засобом швидкого розрахунку різних варіантів.

Підсистема **WinData** призначена для збереження та редагування стандартних і інформаційних даних, необхідних для функціонування кожної з перерахованих вище підсистем.

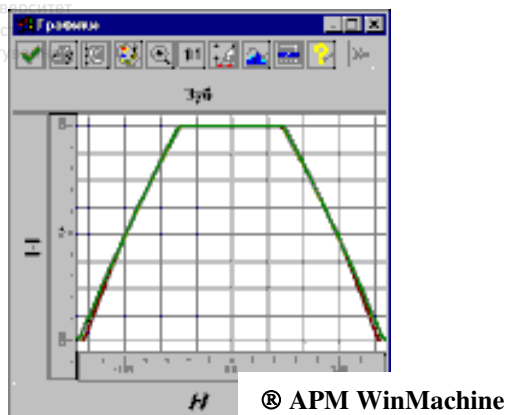


Рис.10.31. Процедура імітації процесу нарізання зубів зубчастих коліс методом обкатування в підсистемі WinTrans

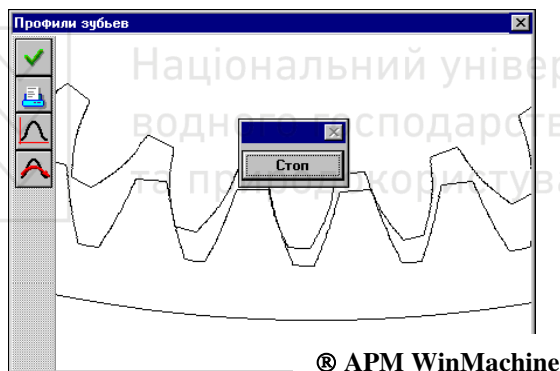


Рис.10.32. Анімація процесу зачеплення в підсистемі WinTrans

Система інженерних розрахунків APM WinMachine має електронний підручник **MDM** - “Основи проектування машин”, у якому викладені основні методи розрахунку, використані при розробці системи.

#### **10.6.1.2. Будівництво.**

**WinFrame3D** - підсистема розрахунку напружено-деформованого стану тривимірних рамних конструкцій.

**WinBeam** - підсистема розрахунку й проектування балкових елементів конструкцій.

Система APM WinBeam призначена для виконання комплексної перевірки розрахунку балки в умовах довільного навантаження. При цьому балка може складатися з ділянок з змінним поперечним перерізом.

Балка являє собою брус довільного поперечного перерізу, розміри яко-

го значно менші довжини бруса. Основним видом напруженого стану балкових конструкцій у більшості випадків є вигин.

При проектуванні таких конструкцій важливим є визначення напружено-деформованого стану балки та розрахунки її динамічних характеристик, що виявляється можливим для заданої геометрії. Крім того, важливими параметрами є реакції в опорах, що необхідні для розрахунку та проектування сполучених з балкою деталей (рис.10.33).

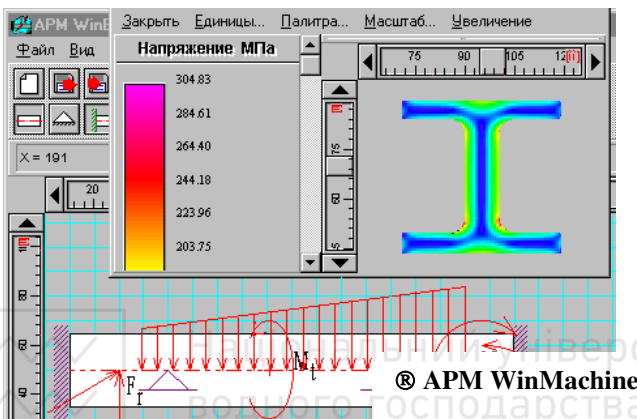


Рис.10.33. Комплексна перевірка розрахунку балки в умовах довільного навантаження

За допомогою APM WinBeam можна розраховувати наступні параметри балки:

- реакції в опорах;
- розподіл моментів і кутів вигину по довжині балки;
- розподіл моментів і кутів повороту при крутінні;
- розподіл поперечних і поздовжніх деформацій;
- розподіл еквівалентних напруг;
- розподіл поперечних сил;
- карти напруг у будь-якому довільному перетині по довжині балки;
- частоти власних коливань.

Результати розрахунків дають можливість побудувати графіки власних форм (рис.10.34).

Спеціалізований графічний редактор APM WinBeam задання балок і їхніх поперечних перерізів використовується на етапі підготовки вихідних даних для подальших розрахунків. Редактор, що має повний набір усіх необхідних процедур, надає користувачу зручні засоби для:

- задання та редагування поперечного перерізу ділянки балки;
- введення навантажень, що діють на балку;
- введення виду опор і їхнього місця розташування;

задання зовнішніх мас і моментів інерції у випадку розрахунку поперечних і крутильних коливань балкових конструкцій.

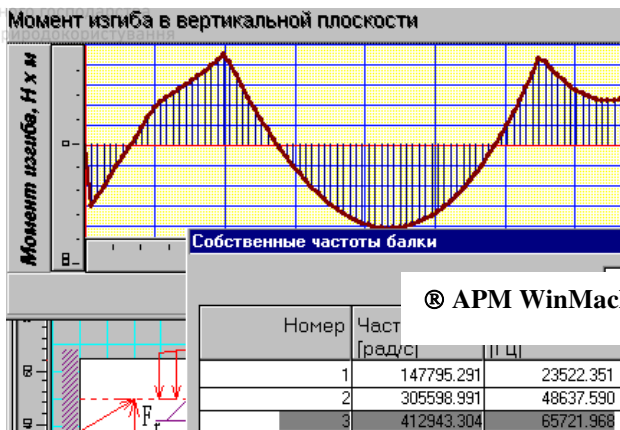


Рис.10.34. Комплексна перевірка розрахунку балки в умовах довільного навантаження

При введенні параметрів можна скористатися послугами баз даних за матеріалами, що працюють під керуванням СУБД.

При виконанні перевірочних розрахунків використовуються комбіновані методи розрахунків.

Розрахунок переміщень виконується енергетичним методом, що відомий ще як метод Мора.

Розкриття статичної невизначеності, якщо така є, проводиться методом сил, при цьому коефіцієнти канонічних рівнянь методу сил розраховуються з використанням інтегралів Мора.

Розрахунок напруг крутіння в поперечному перерізі ведеться методом кінцевих елементів, а напруг вигину та зрушення - методом моменту інерції. При виконанні розрахунків методом кінцевих елементів розбивка на трикутні кінцеві елементи виконується автоматично.

Величини еквівалентних нормальних і дотичних напружень розраховуються за енергетичною теорією міцності.

Система APM WinBeam дозволяє виконати комплексний розрахунок балки й у разі потреби підібрати найбільш придатний для неї поперечний переріз. Крім того, у системі є можливість провести методом початкових параметрів комплекс динамічних розрахунків, що передбачає визначення частот власних коливань і власних форм.

**WinTruss**- підсистема розрахунку й проектування плоских фермових конструкцій методом кінцевих елементів.

**WinStructure 3D** - підсистема розрахунку напружено-деформованого стану тривимірних стрижневих, пластинчатих і плитних конструкцій.





## 10.7. САПР розкрою листового матеріалу ИНТЕХ для DOS

САПР ИНТЕХ для DOS призначена для автоматизація процесу формування карт розкрою листового матеріалу й створення керуючих програм для машин термічного різання з ЧПУ [31].

Система дозволяє:

- виконувати побудову контурів деталей, що виготовляються, засобами власного графічного редактора чи отримувати зображення контурів із графічного редактора КОМПАС-ГРАФІК;
- формувати завдання на розкрій матеріалу, вказавши кількість для кожної з деталей, а також габарити, товщину та матеріал листа;
- виконувати автоматичне, напівавтоматичне чи ручне розміщення деталей на одному чи декількох аркушах з можливим об'єднанням деталей в блоки й з урахуванням багаторівневої вкладеності деталей;
- визначати послідовність обробки деталей і сформувати траєкторію руху різаків з урахуванням наявності одного чи декількох різаків і можливість прорізати перемичок між деталями для зняття напруг;
- виконувати моделювання процесу обробки в режимі графічного контролю;
- одержувати керуючу програму для обраної моделі системи ЧПУ і верстата термічного різання.

Перевагою системи ИНТЕХ є сполучення високого рівня автоматизації при рішенні задачі розкрою та можливості оперативного втручання в даний процес, що дозволяє розміщувати найбільш відповідальні деталі в середній частині листа, задавати потрібну орієнтацію деталі на листі, вирізувати деталі, що згодом зварюються, з одного листа, знімати виникаючі в процесі розкрою напруги.



## 11. НАСКРІЗНІ CAD/CAM/CAE ТЕХНОЛОГІЇ В МАШИНОБУДУВАННІ

### 11.1. Система наскрізного автоматизованого проектування, конструювання, аналізу й виготовлення виробів у машинобудуванні на базі *Autodesk Mechanical Desktop*

Комплексні рішення в області наскрізного автоматизованого проектування, конструювання, аналізу й виготовлення виробів у машинобудуванні забезпечуються на базі програмних продуктів Autodesk Mechanical Desktop.

Система автоматизованого проектування AutoCAD, яка широко використовується інженерами машинобудівного профілю, зазнала ряд істотних змін, перетворившись зі зручного засобу для випуску конструкторської документації в могутню систему тривимірного твердотілого моделювання [32].

Завдяки сучасній стратегії, яка полягає в тому, щоб у рамках єдиної системи побудувати закінчений технологічний ланцюжок, що включає етапи проектування, конструювання, аналізу й виготовлення, компанією Autodesk був випущений програмний продукт Autodesk Mechanical Desktop, що забезпечує інтегровані рішення в області тривимірного твердотілого параметричного моделювання, розробки складальних одиниць і моделювання поверхонь.

Однак, для більш повного задоволення потреб інженерів, конструкторів, технологів потрібні були додаткові засоби для конструювання, аналізу конструкції та підготовки виробництва. Тому компанією Autodesk було налагоджено зв'язки з багатьма партнерами, для розробки додатків для AutoCAD, які призначені для повної автоматизації ланок в наскрізному технологічному процесі від проектування до серійного виробництва.

Наскрізна технологія автоматизованого проектування в рамках єдиної інтегрованої системи дозволяє моделювати виріб на комп'ютері й видавати в виробництво готові рішення на основі перебору великого числа варіантів на етапі проектування, скорочуючи, таким чином, у кілька десятків, а то й в сотні раз час підготовки виробництва.

Партнери Autodesk у рамках ініціативи MAI є промисловими лідерами в таких областях як: конструювання, кінцево-елементний аналіз, вивчення кінематики і динаміки механізмів, проектування прес-форм і аналіз процесів лиття, програмування верстатів із ЧПУ тощо.

Пакет Autodesk Mechanical Desktop (AMD) поєднує в собі вдосконалені функціональні можливості (включаючи моделювання складальних одиниць і можливість перетину твердотілих об'єктів поверхнями) нових версій декількох програмних продуктів компанії Autodesk, вже апробованих на ринку:

- AutoCAD 2000;
- AutoCAD Designer 2 для параметричного моделювання тривимірних твердотілих об'єктів;

- AutoSurf 3 для моделювання однорідних і неоднорідних тривимірних поверхонь;
- Assembler для створення складальних одиниць;
- транслятор AutoCAD IGES для обміну файлами графічних даних з іншими системами САПР;
- програмний інтерфейс MCAD API, що дозволяє адаптувати AMD під конкретні задачі користувача.

Дані продукти працюють у єдиному середовищі, моделі створені в одному модулі, що дає змогу їх легкої передачі та розпізнання іншими програмами.

Другою важливою особливістю є те, що AMD працює в середовищі Microsoft Windows. Інтуїтивний інтерфейс, плаваючі вікна, діалогові панелі, вмонтований опис - все це дозволяє швидко адаптуватися і використовувати всі можливості продукту для створення нових конструкцій.

Інтегроване середовище розробки дозволило по новому підійти і до організації роботи конструктора. Якщо раніше AutoCAD використовувався в основному як інструмент для створення окремих креслень, то з появою AMD стала можливою цілеспрямована робота групи конструкторів, координація зусиль усіх зацікавлених осіб у створенні закінченого виробу.

Внаслідок широкого впровадження комп'ютерів, змінилась ідеологія проектування - конструктор почав створювати не креслення, а електронну модель нового виробу (рис.11.1). За допомогою додатків, створених партнерами Autodesk, він має можливість проаналізувати цю модель як з позицій міцності, функціонування, так і виготовлення.

На відміну від інших систем параметричного моделювання, Mechanical Desktop підтримує роботу з об'єктами, що мають неповний набір зв'язків. Таким чином, можна виконувати концептуальне ескізування, з легкістю проробляючи альтернативні варіанти в процесі оптимізації моделі. Робота в AMD основана на використанні параметричних об'єктів, що з'явилися в AutoCAD Designer. Основу такого об'єкта складає ескіз, розроблений засобами AutoCAD. Цей ескіз являє собою той вид виробу, що найбільш повно відбиває майбутню конструкцію. В подальшому AMD внесе корекцію в цей ескіз, лінії майже вертикальні чи горизонтальні стануть такими, майже співвісні кола стануть співвісними тощо. Конструктору залишається лише внести додаткові логічні зв'язки між окремими елементами ескізу чи змінити ті, котрі система внесла сама, а також проставити необхідні розміри чи залежності. Вони можуть бути задані у виді конкретних значень, формул, значення одних параметрів можуть бути виражені через інші, параметри можуть бути глобальними, у цьому випадку вони доступні для всіх розроблювальних деталей. Зміна будь-якого розміру приводить до зміни всієї конструкції, а не тільки окремого елемента, як було в AutoCAD.

Після того, як ескіз готовий, можна приступати до створення твердотільної моделі.

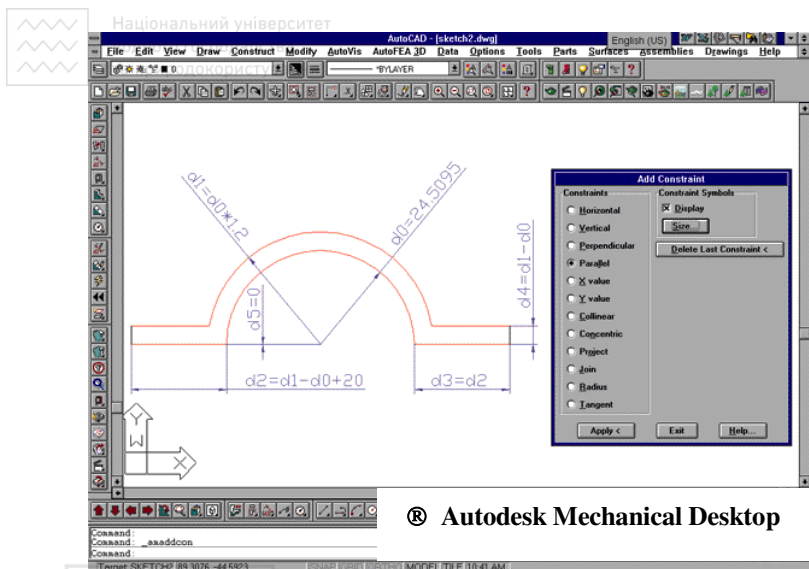


Рис.11.1. Параметричний ескіз і геометричні зв'язки в системі в AMD

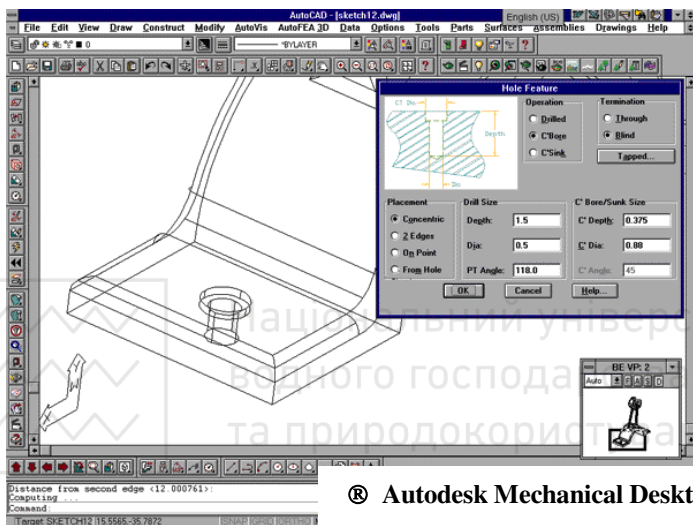
Тіло утвориться внаслідок видавлювання ескізу чи обертання чи його переміщення вздовж заданої кривої. При створенні моделі конструктором використовується діалогове вікно, що підказує, до чого приведе вибір того чи іншого параметра. В подальшому, базовий елемент конструкції можна за допомогою булевських операцій об'єднати з іншими деталями чи навпаки видалити окремі частини. Ескіз будуватиметься у визначеній площині, що й дозволяє добудовувати модель, змінювати зовнішній вигляд будь-якої деталі. Деякі конструктивно-технологічні елементи можуть бути внесені безпосередньо у твердотільну модель: фаски, скруглення, отвори під болти (наскрізні та глухі гладкі, зенкування, під головку впотай, різьбові) (рис.11.2).

При виборі кожний з цих елементів відображається в діалоговому вікні і наочно показує, які зміни відбудуться в деталі після його внесення в конструкцію. Після того як твердотільна модель створена, конструктор може визначити її масу, площу поверхні, інерційні характеристики.

AMD пропонує простий механізм створення окремих видів, розрізів перетинів готової твердотільної моделі, відмінною рисою якого є наявність асоціативних зв'язків між кресленням і самою моделлю. Будь-яка зміна розміру в моделі відіб'ється в кресленні й навпаки. Використання глобальних параметрів при обмірюванні моделі дозволяє створювати варіанти однотипних складальних вузлів.

AMD надає можливість взаємодії твердих тіл з поверхнями, створеними за допомогою AutoSurf. Останній підтримує створення базових, квадратичних поверхонь і поверхонь довільної форми, у тому числі й за NURBS-

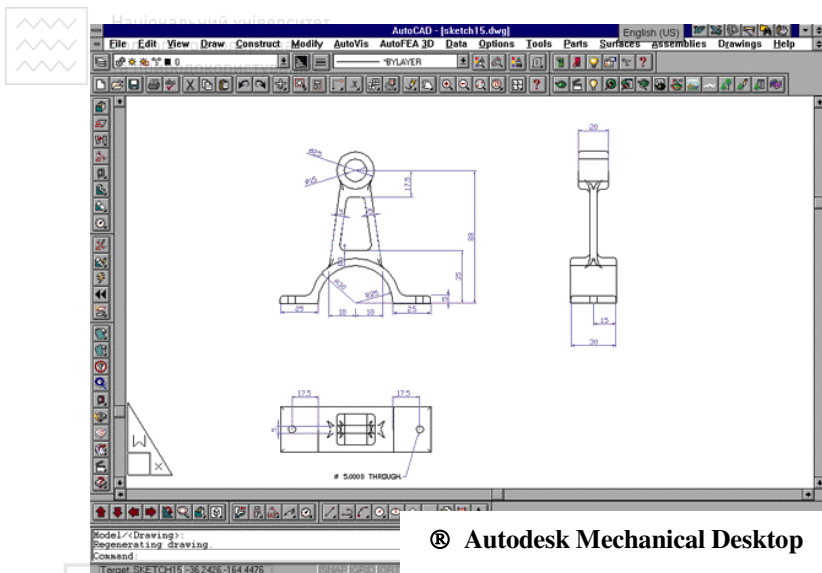
технологією, екстраполяцію офсетних поверхонь, заокруглення просторових кутів і плавне сполучення до 4-х довільних поверхонь, а також розрахунок площі поверхні та об'єму. Таким чином у конструктора з'явився могутній інструмент керування формою готової деталі - параметрична твердотільна модель і поверхні довільної форми, які дають змогу, за допомогою булевських операцій, перетворювати вихідну модель у закінчену конструкцію. Меню системи AutoVision дозволяє одержати фотореалістичне зображення моделі з відповідного матеріалу до її виготовлення (рис.11.3).



® Autodesk Mechanical Desktop

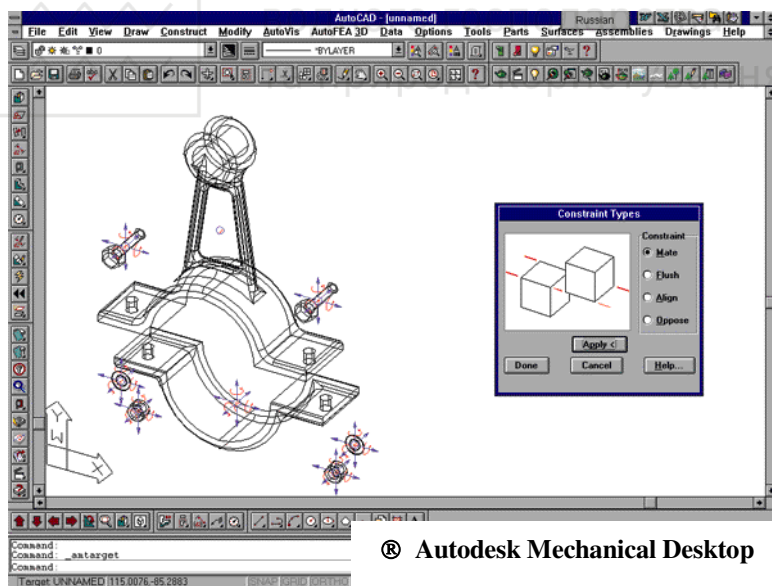
Рис.11.2. Панель створення отворів під кріпильні елементи

При створенні складальної конструкції на основі наявних окремих деталей, конструктор установлює логічні зв'язки між окремими компонентами зборки, щораз зменшуючи ступінь свободи деталей. Для цього використовуються наступні варіанти геометричних зв'язків: асоціативне розташування деталей стосовно одна одної, використовуючи ребра, осі чи грані, вільно-координатне позиціонування. В подальшому можна одержати складальне креслення всього вузла в різних проекціях з необхідними розрізами та перетинами. Додатково можна створити специфікацію на цей складальний вузол з автоматичним включенням усіх деталей зборки. Крім цього можна зробити рознесений вид вузла в якому наочно показана взаємодія окремих компонентів зборки. При генеруванні робочих креслень підтримується автоматичне видалення штрихових і невидимих ліній, параметричні анотації, включаючи анотації до отворів, виносков та розмірів. Підтримуються міжнародні промислові стандарти ANSI, ISO, DIN, JIS.



® Autodesk Mechanical Desktop

Рис.11.3. Параметричне креслення шатуна



® Autodesk Mechanical Desktop

Рис.11.4. Створення зборки - задання логічних зв'язків між деталями

### 11.1.1. Система машинобудівного конструювання *GENIUS*

Провідним партнером Autodesk в області машинобудівного конструювання є компанія Genius Gmb, що працює в цьому напрямку з 1986 р. Genius є найбільш розповсюдженою прикладною програмою для AutoCAD і Mechanical Desktop в області машинобудування. Genius переведена на 13 мов, включаючи російську й реалізовується в 32 країнах світу. Користувачі Genius працюють в різних галузях: автомобілебудуванні, літакобудуванні, енергетичному машинобудуванні, верстатобудуванні, в металургії й навіть у харчовій промисловості. Розроблювачі Genius завжди ставили перед собою ціль зробити конструкторам-машинобудівникам більш могутню підтримку, чим та, котра надається системою Autocad і Mechanical Desktop.

Найбільш ефективно Genius 13 використовується для розробки складальних креслень та деталювань, а також супутньої конструкторської документації. Для задоволення вимог користувачів, згідно з якими робота з програмою не повинна ускладнюватися в процесі свого розвитку, був розроблений “об’єктно-орієнтований” підхід до методу розробки та редагування креслень.

Такий підхід до проектування забезпечує швидкий процес розробки складальних конструкцій з можливістю ефективного внесення змін. Після виконання складальних креслень, легко перейти до деталювання. Для цього служить спеціальна функція “розносу” елементів конструкції в окремі креслення (при цьому можна мати заздалегідь заготовлені оформлені формати з внесеною необхідною технологічною інформацією). Зв’язок складальних креслень й деталювань надає можливість внесення змін у збірку, при доробці деталювальних видів. Тому при повторному звертанні до збірки відбувається заміна елемента, відредагованого (дооформленого) в деталювальному кресленні. Якщо ця зміна викликає необхідність переробки деталей, що сполучаються, (тобто деталей, що контактують зі змінним елементом), то ці зміни відбудуться автоматично. Якщо користувачу необхідно буде видалити з конструкції будь-яку деталь, то йому необхідно лише вказати на цю деталь. Процес графічного переоформлення креслення відбудеться автоматично. При цьому буде анульовано як вид деталювання, так і позицію в специфікації.

Наступним етапом роботи функції “об’єктного редагування” є заміна однієї деталі в кресленні на іншу, при звертанні користувача до розрахункових функцій базового модуля пакета Genius 13. У складальному кресленні присутнє гвинтове з’єднання двох елементів, виконане на ранній стадії конструювання (рис. 11.5).

При подальших розрахунках конструкції виробу користувачем накладаються додаткові умови стягування двох елементів, що з’єднуються, на визначену величину сили. При цьому, система сама запропонує оптимальний діаметр кріпильного елемента. Відповідно до цього, вибирається новий тип кріплення - болтове з’єднання, де болт обраний того діаметра, що був визначений у розрахунку. Кріпильний вузол доповнюється шайбами відповідного діаметра. Після підтвердження обраних конструктивних еле-



ментів, відбудеться автоматична переробка креслення, деталювань і специфікацій (рис. 11.6).

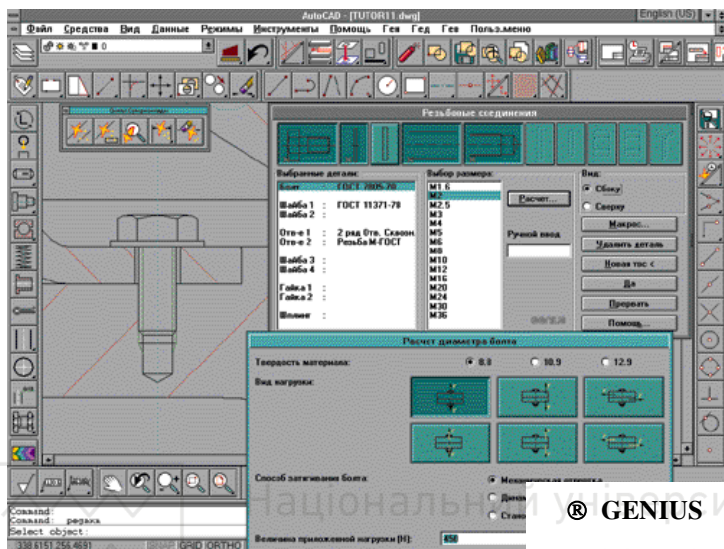


Рис.11.5. Робоче вікно Genius з гвинтовим з'єднанням

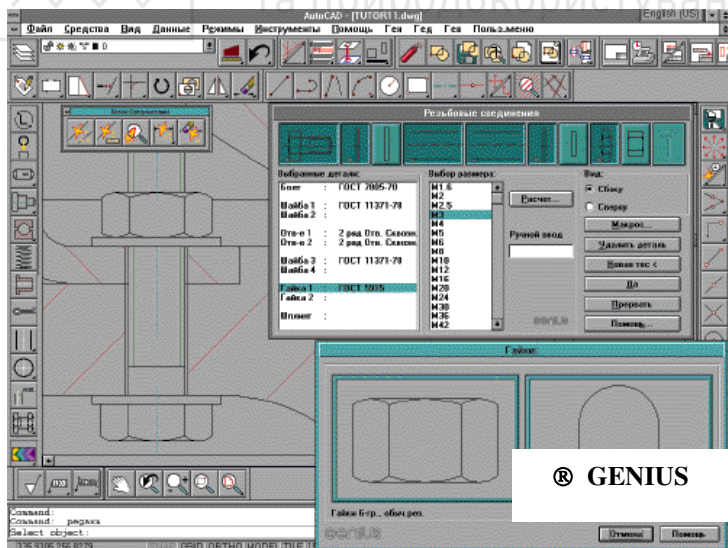


Рис.11.6. Зміна різьбового з'єднання

Зі зміною в збірці будуть піддані зміні всі види (планові та розрізи), де присутні відредаговані деталі. Так як складальні креслення часто розташовуються на декількох аркушах і мають велику кількість видів, то всяка, навіть незначна зміна, є досить трудомісткою операцією. До того ж, якщо ця зміна виконана традиційним способом, то не може бути 100% гарантії, що конструктор внесе зміни в усі види на кресленнях. Редагуючи деталь у Genius 13 на одному виді креслення, зміни на інших видах відбудуться автоматично й конструктору не буде потрібно шукати й робити всі зміни. Це дозволяє зосередити його увагу більше на розрахунку самої конструкції, а не на її графічному оформленні.

На етапі розробки нової конструкції користувачу приходится виконувати багато допоміжних графічних побудов, перш ніж вона прийме остаточний вид. Для швидкої й ефективної побудови в Genius 13 закладені функції побудови “допоміжних ліній”. Механізм побудови допоміжних ліній настільки ефективний, що від конструктора вимагається лише вибирати те чи інше рішення, що йому пропонується, що звільнить його від постійного звертання до функцій побудови. Допоміжні лінії розташовуються на спеціальному шарі креслення, що дозволяє їх не видаляти з креслення після остаточної побудови, а лише заморозити. Приймаючи остаточне рішення виконаних побудов, користувач може скористатися функцією “трасування контуру”. Усі графічні побудови будуть виконуватися точно, тому що в Genius 13, крім стандартних режимів прив'язки, пропонованих Autocad, використовуються кілька нових режимів, а також новий і дуже корисний засіб - “суперприв'язка” (рис. 11.7).

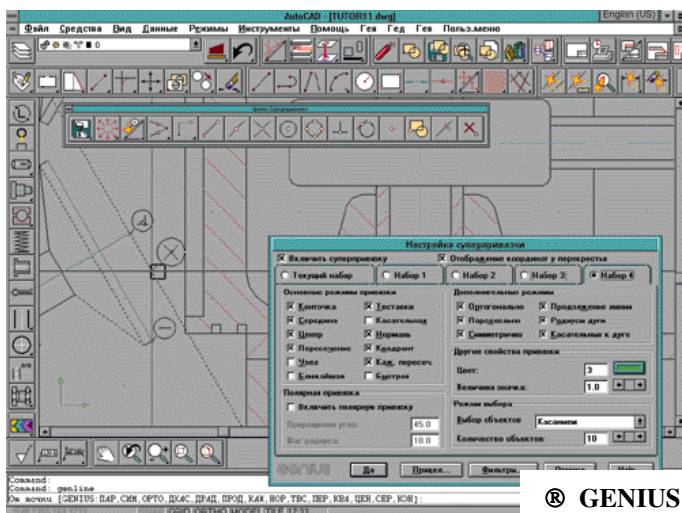


Рис.11.7. Об'єктна прив'язка



Засіб “суперприв’язки” дозволяє вказувати характерні точки об’єктів, використовуючи при цьому принцип повної відповідності зображення на екрані бажаному. Так наприклад, якщо встановлений режим “кінцева точка”, то досить просто підвести до цієї точки приціл курсору, після чого:

- рамка курсору прив’язується до цієї точки;
- поблизу точки прив’язки з’являється значок "кінцева точка";
- об’єкти, що беруть участь у “суперприв’язці” тимчасово змінюють свій колір.

Якщо це - саме та точка, що потрібна, варто підтвердити вибір натисканням кнопки миші.

За допомогою меню “прив’язок” конструктор може встановити той набір прив’язок, що він буде використовувати на даному етапі проектування. Надалі, працюючи з набором прив’язок, не буде необхідності звертатись до прив’язочних функцій при графічних побудовах. Конструктор завжди має можливість встановити потрібний набір прив’язок і зберегти його. Функціональне значення прив’язки періодично підсвічується в колі поруч з курсором, при переміщенні останнього по графічних елементах креслення.

У Genius 13 є група команд для ведення проектно-конструкторських робіт. Genius 13 показує “примушування”, застосовуючи прості, зрозумілі символи. Перед користувачем на екрані відразу ж з’являється логічний контекст для об’єктів. Команда “покажи примушування” показує які елементи вже потрапили під примушування, а які ні. При перетинанні об’єкта курсором, висвічується невеликий логічний символ всіх об’єктів, до яких цей символ відноситься, так що користувачу відразу ж стає зрозумілою картина взаємин між різними об’єктами. Технологія примушувань є важливою частиною параметричної новизни в Genius 13. Іншим інструментом, реалізованим у Genius 13, є “менеджер примушувань”, що аналогічний “менеджеру примушувань”, що використовується в Autoca Designer. Genius 13 пропонує для цього зручний інтерфейс користувача, що дозволяє вручну чи автоматично накладати примушування на об’єкти, що викреслюються. Не менш важливо використовувати в роботі й інші можливості Genius 13:

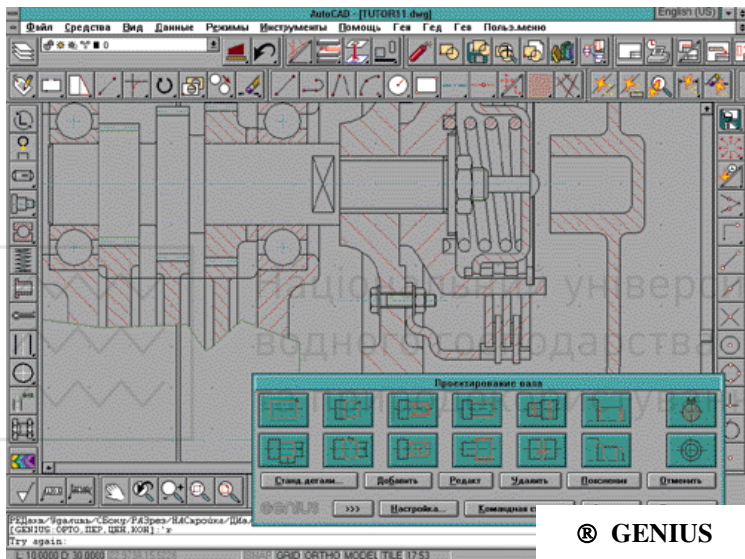
- розширене керування шарами і їхніми групами;
- редактор блоків, що підтримує їхню вкладеність;
- деталі, параметрично обумовлені користувачем;
- диспетчер каталогів для бібліотеки графічних блоків;
- диспетчер зв’язків;
- інтелектуальне штрихування;
- підтримка специфікацій;
- вкладені специфікації;
- параметричні стандартні деталі в стандартах ЄСКД, ANSI, ISO, DIN;
- асоціативність об’єктів у різних рисунках;
- асоціативні рамки й основні написи;
- асоціативність нумерації деталей;



Національний університет

- автоматичне нанесення асоціативних двовимірних невидимих ліній;
- редактор шаблонів документів;
- технічні символи (допуски форми й розташування, структура поверхні, зварювання).

Швидкий процес конструювання забезпечується функціями для побудови окремих машинобудівних деталей. Спеціальні меню, у які зібрані функції графічної побудови (вали, зубчасті колеса, шестерні тощо) дозволяють створювати і редагувати креслення. Звертання до цих функцій значно підвищує продуктивність роботи конструктора (рис. 11.8).



® GENIUS

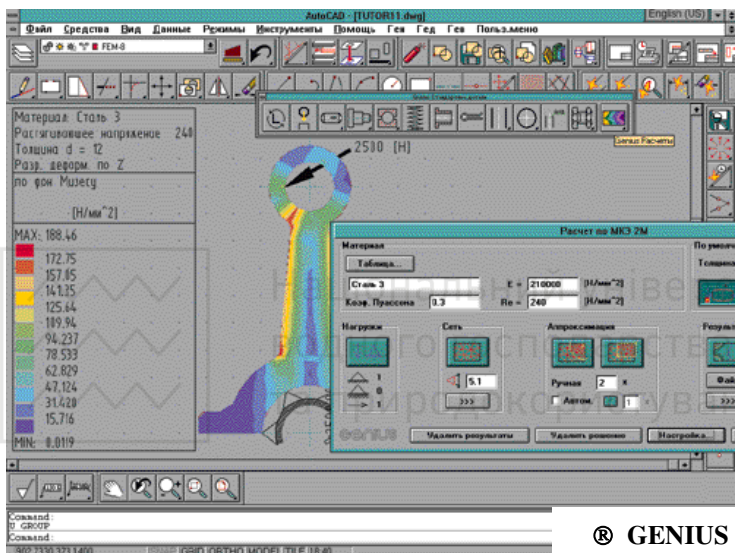
Рис.11.8. Побудова вала

В епоху технічного прогресу змінилися багато інженерних задач: вони стали складнішими, і їхнє рішення вимагає використання найсучасніших методів. Багато задач побудови розрахункової моделі тісно зв'язані з процесом обчислень. Під час роботи конструктор періодично може звертатися до розрахункових функцій. Оскільки всі елементи креслення мають вигляд об'єкту, то їх можна вивчити та розрахувати, використовуючи наступний набір інженерних розрахунків:

- аналіз методом кінцевих елементів;
- розрахунки ексцентриків (кулачків), що описуються поліномами до 5-го ступеню;
- розрахунки пружин розтягання/стиску;
- розрахунки пасових/ланцюгових передач;
- розрахунок валів;

- Національний університет
- розрахунок прогину;
  - редактор рівнянь (для встановлення додаткових розрахунків).

Часто в інженерній практиці виникає необхідність у визначенні розподілу напруг і деформацій у пружному середовищі. Інструментом для цього є **метод кінцевих елементів (МКЕ)**. Для рішення конкретної задачі МКЕ безперервна модель дискретизується відповідно до обраного простору кінцевих елементів. Тому, при рішенні задачі, необхідно розбити простір на елементи й визначити інтерполяцію, що відповідає простору кінцевих елементів (рис. 11.9).



® GENIUS

Рис.11.9. Аналіз шатуну методом кінцевих елементів

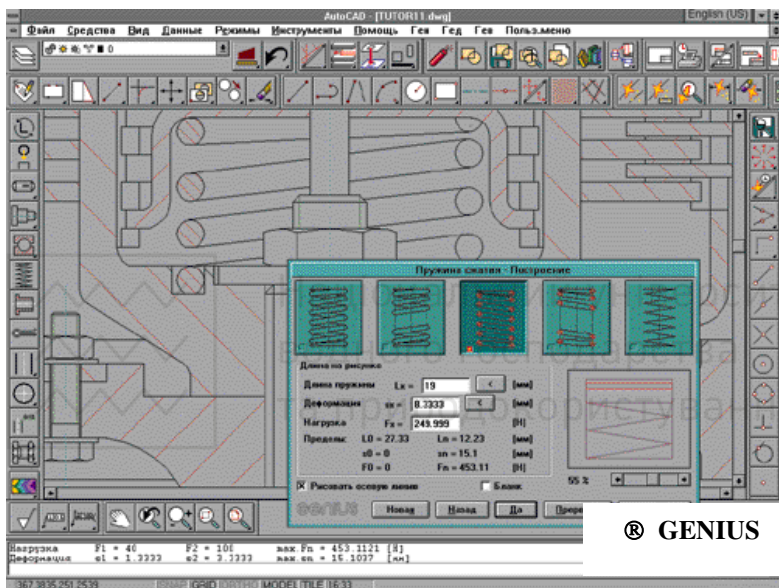
Аналізуючи результати, отримані при розподілі напруг і деформацій, можна внести відповідні зміни в конструкцію деталі. Елементи МКЕ, використовувані в Genius 13, досить прості і не відбивають усі можливі задачі, розв'язувані за допомогою цього методу. МКЕ в Genius 13 призначений для розрахунку розподілу напруг і деформацій плоских моделей із заданою товщиною.

**Розрахунок кулачків.** Кулачкові механізми застосовують у тих випадках, коли переміщення, швидкість і прискорення відомої ланки повинні змінюватися за заздалегідь заданим законом, зокрема, коли відома ланка повинна тимчасово зупинитися при безперервному русі ведучого ланки. У Genius 13 побудова профілю кулачка ґрунтується на заданому законі руху (діаграмі шляху) відомої ланки. Крива діаграми - поліном не вище 5-й ступеня. Для розрахунку ділянки шляху необхідно задати граничні умови. Для ділянки шляху можливий розра-



хунок швидкості і прискорення. Повна діаграма шляху складається з розрахованих ділянок шляху. Програма може виконувати і зворотну дію - побудова діаграми шляху за відомим профілем кулачка. Відомий елемент повинний складати пари з кулачком. Використовуючи отриману діаграму шляху, можна підготувати дані для верстатів із ЧПУ.

**Розрахунок пружин.** Включені в Genius 13 функції роботи з пружинами дозволяють відтворювати пружини, узяті зі стандартних каталогів, а також створювати геометрію пружин за параметрами, що задаються розробляючим (рис.11.10).



® GENIUS

Рис.11.10. Розрахунок і проектування пружин

У Genius 13 передбачена можливість для проектування **систем стрічкового та ланцюгового конвейєрів**. Якщо представити три зубчасті колеса, кожне з яких має визначене число ступенів свободи й об'єднати їх ланцюгом, то Genius 13 зможе розмістити їх таким чином, що ланцюг дійсно ввійде в зачеплення з зубами коліс. Вихідною характеристикою розрахунку є довжина ланцюга. У результаті розрахунку буде відтворений як сам ланцюг, так і окремі ланки ланцюга чи стрічки.

**Розрахунок осей і валів.** У машинобудуванні осями і валами називаються обертові деталі, що служать для передачі крутного моменту. Осі й вали розрізняються між собою за умовами роботи. Осі, що несуть на собі обертові частини, не передають моментів і піддаються тільки вигину; вали, будучи, як і осі підтримуючими деталями, крім того, передають крутний

момент і працюють не тільки на вигин, але й на крутіння. Більшість валів має не менше двох посадочних місць. При навантаженні валів (від зубчастих, ланцюгових, пасових передач тощо) у посадочних місцях виникає сила реакції, рівна за величиною навантаженню, але протилежна за напрямком. Крім того, під впливом аксіального тиску, а також при наявності косозубих чи конічних зубчастих передач у валах виникають осьові зусилля, а в поперечних перерізах - розтягуючі та стискаючі напруження. Для підтримки осей і валів з насадженими на них деталями та сприйняття діючих на них зусиль служать спеціальні опори: підшипники, що навантажуються радіальною силою  $F_r$ , і підп'ятники, що навантажуються осьовою силою  $F_a$ .

Для того щоб почати роботу з програмою розрахунку валів, необхідно переконатися в наявності цього вала на рисунку. Після цього потрібно вибрати вихідний вал. При розрахунку обчислюються:

- лінія прогину;
- згинальний момент;
- крутний момент;
- реакція опори;
- кут зкручування;
- еквівалентна напруга;
- запас міцності.

Результати можуть бути представлені у вигляді рисунка, чи вигляді діаграм і таблиць.

**Функції розрахунку балок** допомагають розрахувати прогин (лінію прогину) і момент інерції перетину балки, що знаходиться під впливом декількох зовнішніх сил. Для того, щоб зробити розрахунки, вибирається існуючий переріз, чи проектується новий; при цьому єдиною умовою, що накладається на цей переріз, є його замкнутість (можливість нанесення штрихування).

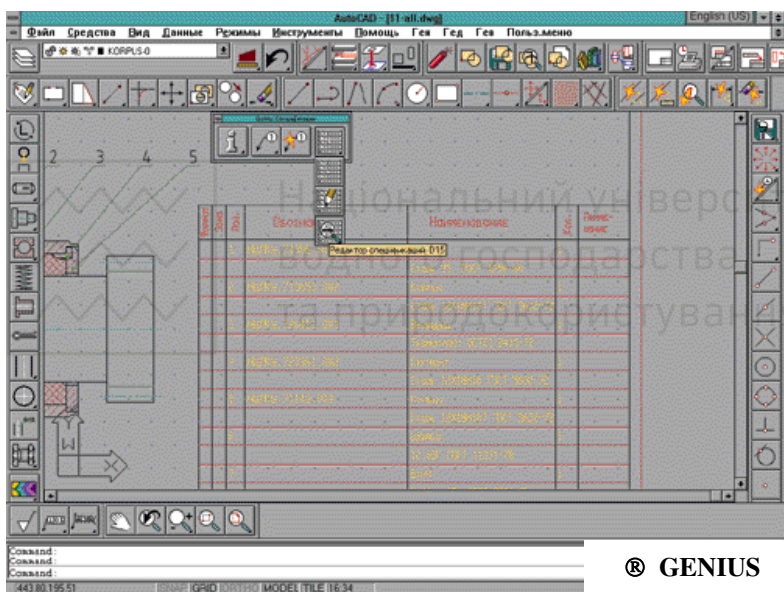
Для виконання додаткових інженерних розрахунків, Genius 13 пропонує новий **редактор формул**. Працюючи з ним, розроблювач може формувати власні списки технічних даних і проводити з ними розрахунки. Керування різними листками технічних даних здійснюється в спеціальній графічній бібліотеці.

Зробивши розрахунки, конструктор може продовжити роботу з кресленнями, періодично звертаючи до “суперкоманд”. Так як робоче креслення вимагає необхідного оформлення, то використання перерахованих вище функцій є ефективним. Крім того, важливо використовувати для оформлення креслень бібліотеки графічних символів і позначень, оскільки обов'язковими атрибутами будь-якого креслення є розміри, допуски, шорсткості, позначення базових поверхонь тощо. Усі ці бібліотеки відкриті для доповнення. Засіб “супероброзмірування” доповнює і без того широкі можливості нанесення розмірів. Поняття об'єкта, у сполученні з суперрозмірами, дозволяє додавати та видаляти окремі базові розміри й розмірні ланцюги, не



редагуючи всю структуру розміру. Іншими словами, якщо видалити кілька розмірів, інші, вхідні в структуру розміри, будуть автоматично перебудовані. Службові лінії розмірів автоматично розриваються в місцях перетину з текстом. Нарешті, розмірам можна призначити точність представлення, що зберігається при будь-яких змінах.

При розробці креслень конструктор часто користується постійним набором типових деталей. При необхідності групу таких деталей, а також вид їхнього спільного зображення може бути обговорений за допомогою “макросу”. При звертанні до бібліотеки “макросів”, конструктор без додаткових процедур одержує в своє розпорядження визначений набір деталей і йому тільки буде необхідно вибрати їхні параметри і внести в креслення (рис. 11.11).



® GENIUS

Рис.11.11. Фрагмент складального креслення зі специфікацією

З процесом проектування пов'язане не тільки отримання креслень але й розробка іншої документації (специфікації, технологічні карти, маршрутні технології тощо). Тому, інформація про кожну деталь, що попередньо задається проектувальником, може передаватися у відповідні бланки документів. Ця інформація присутня на кресленні у вигляді “інформаційної точки”. Під час роботи, конструктор доповнює складальний вузол новими деталями й стандартними елементами. При цьому, на кресленні з'являються “інформаційні точки”, що містять інформацію про об'єкти. При простановці позицій, інформаційні крапки зникають з креслення, замінюючи їхньою



пронумерованою позицією, а інформація про цю деталь передається у відповідний бланк специфікації. Для зручності розробки власних бланків документів, у Genius 13 є “редактор форм”.

Можливості пакета Genius 13 значно розширюються при роботі з додатковими модулями, що дозволяють вирішувати різні специфічні і конкретні виробничі задачі.

### **11.1.2. Система створення простих параметричних моделей *GENIUS-Vario***

Невід'ємною частиною роботи з пакетом Genius 13 є звертання до параметричних деталей. У базовому модулі Genius 13 є механізм для створення простих параметричних моделей типу (болт, фланець тощо). Але для створення власних стандартів, типових конструкцій деталей у декількох проекціях, необхідна наявність додаткового модуля параметричного конструювання Genius-Vario. Це система параметричного проектування високого рівня, до основних переваг якої відносяться:

- об'єктна орієнтованість;
- вкладена параметризація;
- динамічне переміщення згенерованих моделей;
- параметричне конструювання за логічною умовою;
- використання параметричних таблиць;
- інтерфейс із Microsoft Excel і Microsoft Access;
- автоматичне видалення невидимих ліній тіла.

Як відомо, параметризація прискорює конструювання ідентичних виробів, що відрізняються між собою деякими геометричними аспектами. Візьмемо, наприклад, класичну конструкцію: поршневу групу з колінчастим валом. Як правило, вони мають ті самі конструктивні рішення, що відрізняються лише розмірами. І це твердження справедливе для невичерпної кількості машинобудівних деталей (подібних до пневматичних циліндрів, зубчастих редукторів) які користувач може спроектувати самостійно.

Genius-Vario робить параметричне конструювання елементарно легким і ефективним. Така простота роботи з програмним продуктом, що володіє величезними функціональними можливостями досягається завдяки використанню нової технології Genius Constraint Manager (GCM) - “Менеджер Примушувань”, призначеної для тривимірного твердотельного параметричного проектування. Саме це відрізняє Genius-Vario від інших параметричних програм.

Розглянемо приклад створення параметричної деталі в Genius-Vario. Деталь попередньо викреслюється в системі AutoCAD чи Mechanical Desktop (рис. 11.12). Але при оброзміруванні деталі попередньо задаються перемінні параметри замість чисельних значень у розмірах тих елементів деталі, що будуть змінюватися надалі в залежності від вихідних параметрів, що задаються конструктором. Всі процедури з оброзмірування виконуються за допомогою модуля параметричного конструювання Genius-Vario. Їхне

позначення перемінними може бути задано не тільки у виді символьних перемінних, типу “H”, “L” чи “D”, але й у виді формул, що зв'язують різні параметри виробу, типу “(L/D)\*10”. Перевірка правильності розробки параметричної моделі виконується безпосередньо в Autocad чи AMD.

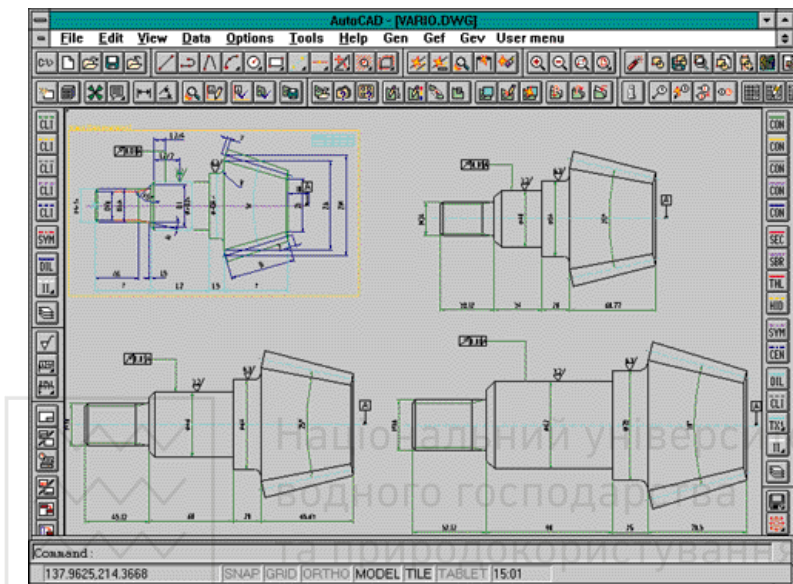


Рис.11.12. Типова конструкція вала

Далі, простою вказівкою розміру чи точки можна динамічно змінювати конструкцію на екрані. Закінчивши розробку параметричної моделі виробу, її необхідно зберегти в Базі Даних параметричних деталей (рис. 11.13).

Надалі, коли знадобиться використання цієї деталі при розробці креслення, вона просто викликається з Базі Даних Genius-Vario із заданням необхідних значень перемінних. У результаті, миттєво створюється варіант параметричного виробу, який необхідно тільки розмістити в необхідному місці креслення.

Значення перемінних можна вибирати з параметричної таблиці, пов'язаної з моделлю виробу, що створює додаткові зручності при виборі типорозмірів. Дані параметричної таблиці містять дані про всі параметри моделі виробу. При роботі з параметричними моделями в середовищі Autocad чи Mechanical Dektop для Windows, керування даними в таблицях може здійснюватися засобами Microsoft Excel і Access.

Об'єктна орієнтованість Genius-Vario дозволяє вносити зміни в створюваний варіант виробу навіть під час вставки його в креслення. Використовуючи функції об'єктного редагування базового модуля Genius 13, можна

легко змінювати вже створений варіант параметричного виробу на кресленні (рис. 11.14). При цьому, параметри моделі коректуються через діалогове вікно. Наприклад, змінивши кількість отворів у фланці з 8 на 4, автоматично відбувається регенерація креслення з придушенням невидимих конструктивних елементів інших деталей, що мають зв'язок з даним фланцем.



Рис.11.13. База даних параметричних деталей



Рис.11.14. Вибір деталі за заданими параметрами



Користувач може продовжити роботу з Genius-Vario розробляючи конструкції складних механізмів: розділяючи проект на конструктивні вузли й окремі деталі. Для комплексних параметричних проектів необхідно просто включати будь-яку кількість більш простих параметричних моделей в основну параметричну модель. Таким чином, за допомогою Genius-Vario можна розробляти комплексні параметричні проекти складних механізмів з одержанням розрахункових таблиць. Для цього досить скласти специфікацію й пов'язати її з програмою розрахунку в Microsoft Excel. При натисканні кнопки мишки в розпорядженні економіста надійде повна калькуляція з розрахунками й кресленнями.

Для досвідчених проектувальників, редактор дій Genius-Vario пропонує могутній інструментарій по керуванню параметричною моделлю. Серед речей, на які здатний редактор дій - включення діалогових вікон у параметричну модель, що дозволяє призначати додаткові опції й здійснювати вибірку при одержанні декількох варіантів виробу. Редактор дій допускає також установку границь рисунка, переміщення перемінних між варіантами, визначення умов вибору варіантів параметричної моделі виробу. Більш того, редактор дій Genius-Vario має інструмент для створення міні-додатків для параметричних моделей, з метою спрощення процесу їхнього створення.

Таким чином, у Genius-Vario включені всі необхідні засоби для ефективно розробки проектів і рішення індивідуальних вимог від створення простих параметричних моделей деталей до комплексних параметричних зборок, з великою кількістю вкладених параметричних моделей. Тому Genius-Vario є ідеальним інструментом для створення сімейств креслень з типовими деталями, у яких змінюються розміри. При виконанні типового проекту з використанням бібліотек параметричних деталей, створених за допомогою Genius-Vario, конструктор значно заощаджує свій робочий час. Для рішення задач по створенню бібліотек стандартів підприємств, Genius-Vario не має собі рівних серед подібних додатків для AutoCAD і AMD. Створивши параметричну модель один раз, користувач зможе надалі використовувати її у своїх розробках як стандартизовану частину роботи.

### **11.1.3. Система напівавтоматичного отримання ізометричного виду деталі *GENIUS TNT***

Система GENIUS TNT призначена для рішення задач напівавтоматичного одержання ізометричного виду деталі, цілої складальної конструкції чи її частини. У якості вихідних даних використовуються плоскі креслення, що мають декілька проєкцій. Користувач по черзі вибирає однотипні елементи на різних видах, після чого відбувається автоматична побудова ізометричного зображення. Чим більше інформації міститься про той чи інший елемент у кожній його проєкції, тим точніше вийде ізометричний вид. Прикладом застосування системи GENIUS TNT може бути ізометричний показ елемента фланця - деталі, що погано піддається сприйняттю конструктором, через велику кількість видів і перетинів (рис. 11.15).

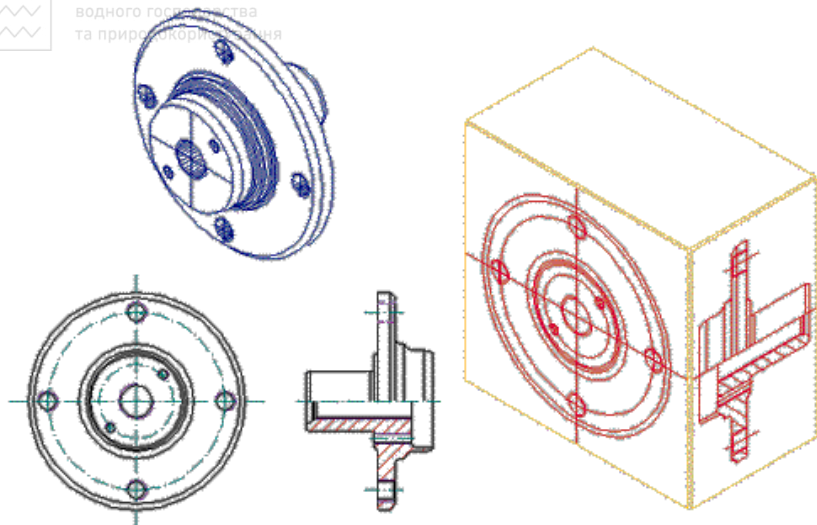


Рис.11.15. Креслення фланця

#### 11.1.4. Модулі GENIUS Sheet-Metal одержання моделей з тонколистового металу

Модулі **Genius Sheet-Metal**, **Genius HVAC**, **Genius Solid-Sheet** сполучають у собі комбінацію функцій для рішення наступних задач одержання моделей з тонколистового металу:

- розрахунки для холодного листового штампування та гнуття;
- одержання розгорток;
- розробка об'ємно-листових конструкцій;
- послідовне виконання технологічних операцій по гнуттю та об'ємно-листовому штампуванню (рис. 11.16).

Модуль **Sheet-Metal** дозволяє будувати розгортки листових металевих конструкцій коробчастого та іншого типів. Для їхнього одержання необхідно побудувати базовий вид листової конструкції в плані, і відповідно до цієї конструкції профілі з характерними точками для всіх видів деталі. Процес побудови профілю й розгорток цілком автоматизований. Необхідно тільки вибрати необхідні параметри, що відповідають заданому матеріалу. Побудова профілю здійснюється за заданою направляючою лінією виконаною в Autocad. Після призначення відповідності профілів на всіх видах відбувається розрахунок загального розкрою деталі з урахуванням кутів перегину для обраного типу матеріалу. Для різних конфігурацій виробів можна розрахувати технологію холодно-листового штампування та гнуття з коректуванням розмірів деталі на залишкову деформацію й витяжку. Дані розрахунки дозволяють значно підвищити точність і поліпшити збирання



конструкції, що складається з деталей отриманих методом холодного листового штампування та гнуття (рис. 11.17).

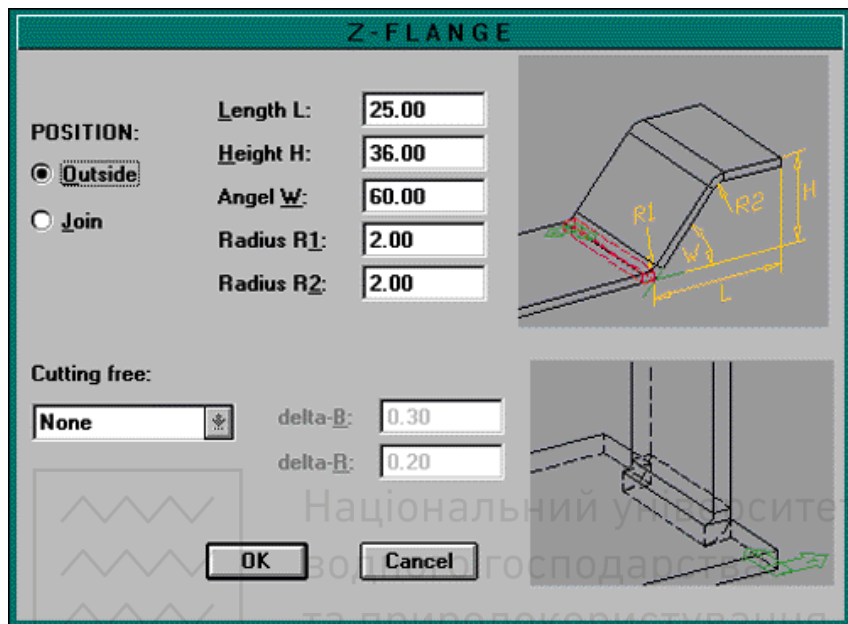


Рис.11.16. Задання параметрів для листового гнуття

**Genius HVAC** - це спеціалізоване доповнення до Genius Sheet-Metal для проектування типових конструкцій типу коробчастих ємкостей, контейнерів, вентиляційних і трубчастих елементів. За допомогою Genius-HVAC легко розробляти розгортки наступних конструкцій:

- трубопровідні з'єднання;
- елементи конструкцій ємкостей і казанів;
- конусні та циліндричні перетини;
- трубопровідні розгалуження;
- кутові колінчасті з'єднання.

**Genius Solid-Sheet** - модуль для проектування об'ємно-листових конструкцій і подальшого одержання розгорток. Процес побудови й розрахунку здійснюється з використанням нових функцій і можливостей твердотільного моделювання ACIS Solid Autocad 13 і Autodesk Mechanical Desktop, що дозволяє значно прискорити автоматичне одержання розгорток (рис. 11.18).



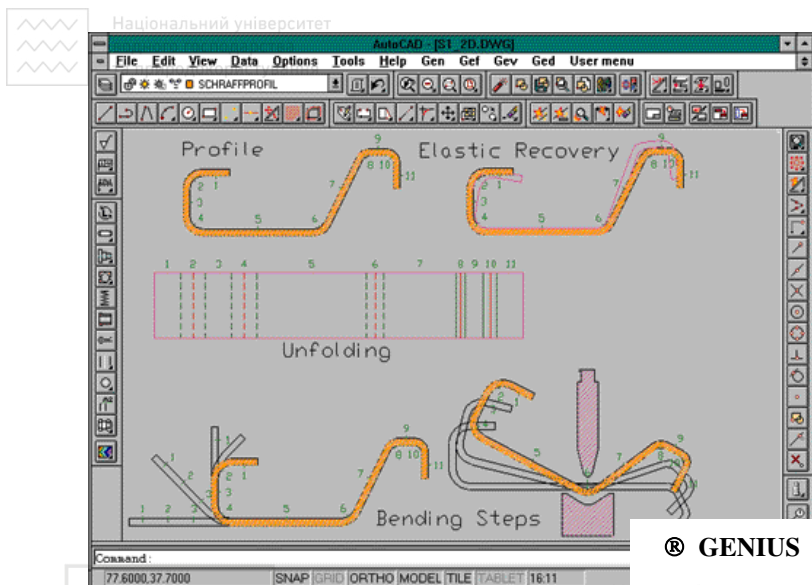


Рис.11.17. Процес гнуття деталі

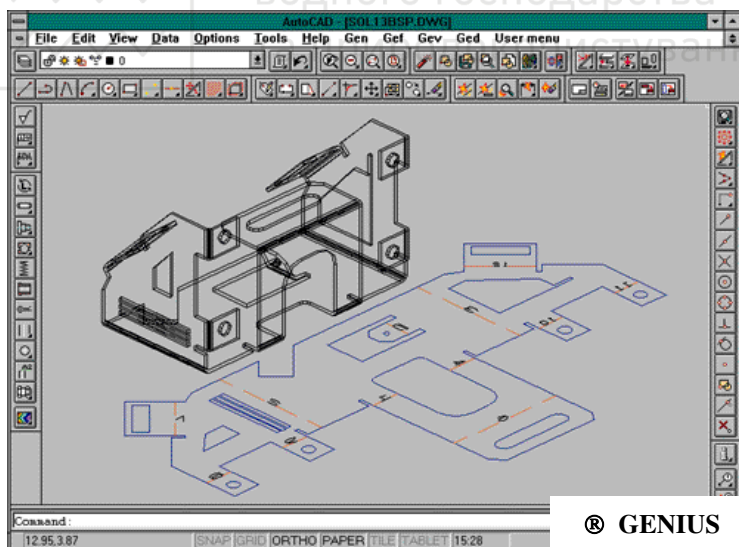
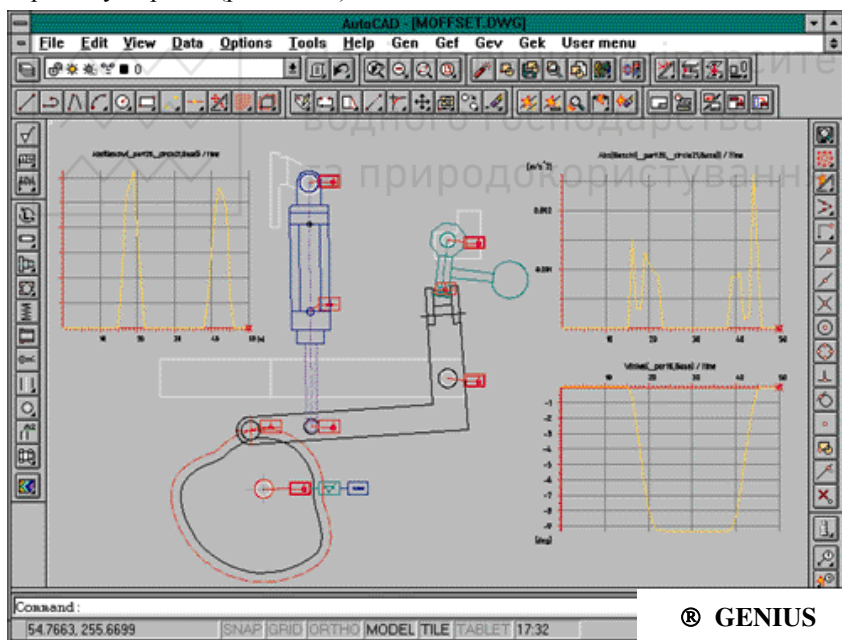


Рис.11.18. Об'ємне штампування деталі та розгортки

Модуль **GENIUS Motion** дозволяє оцінювати й розраховувати площин-  
 ні задачі з механізмами. З його допомогою розв'язуються задачі з кінема-  
 тики та динаміки. На етапі розробки прототипів деталей можна проаналізу-  
 вати поведінку механізму. Задання навантажень і моментів інерції дозволяє  
 одержати циклодинамічні характеристики в числовій і графічній формі.

Приклади використання **Genius Motion**. Розрахунок траєкторії руху  
 трейлера з причепом на повороті дороги. Вивчення поведінки механізмів  
 у двигуні. Розрахунок руху рухливих частин чи форм штампів щодо пара-  
 метра ходу поршня (рис. 11.19).



® GENIUS

Рис.11.19. Кінематика кулачкового механізму в модулі *GENIUS Motion*

Модуль **GENIUS Profile** надає можливість використання бібліотек ста-  
 левих балок і профілів. При розробці креслень, конструктор може викорис-  
 товувати різні види й перетини. Для технологічних документів можуть ви-

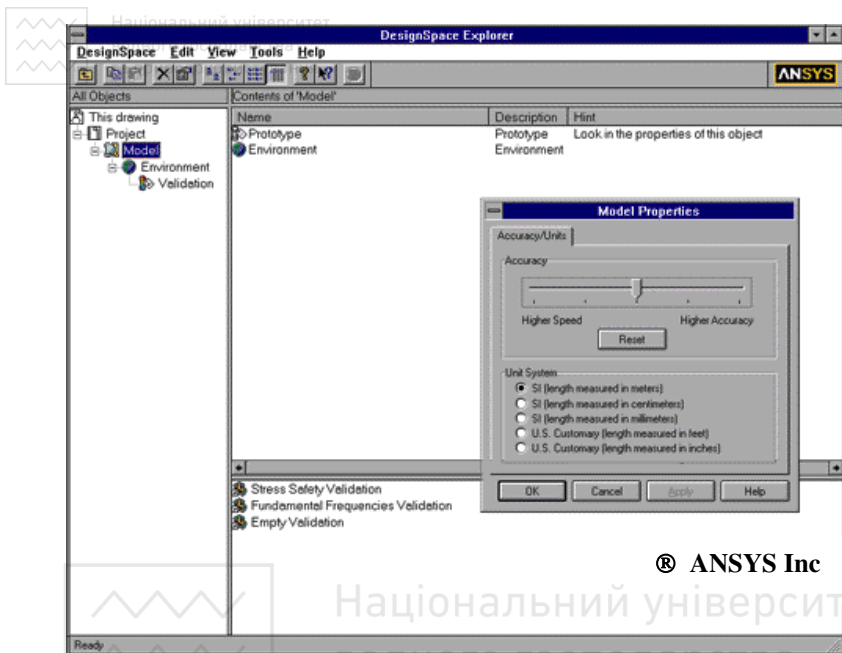
користуватися незалежні інформаційні дані про сукупну довжину профілів, їхню вагу й інші параметри. Балка чи швелер може бути динамічно викреслений на екрані, у такий спосіб розроблювач одержує можливість працювати з базою даних у діалоговому режимі.

Модуль **GENIUS Mold** дозволяє комплексно вирішити питання з проектування технологічного оснащення: прес-форм, штампів. До складу входять бібліотеки конструктивних елементів різних стандартів і механізм для розробки типових складальних конструкцій і вузлів.

## 11.2. Система аналізу конструкцій на міцність методом кінцевих елементів *ANSYS/AutoFEA*

В області аналізу конструкцій на міцність у рамках МАІ партнером Autodesk стала фірма ANSYS Inc., яка більше 30 років займається розробкою та впровадженням програм аналізу методом кінцевих елементів. Фірма ANSYS Inc. єдина, котра одержала сертифікат якості ISO-9001 на програмний продукт, призначений для аналізу конструкцій. Для AutoCAD розроблені два варіанти всесвітньо відомої програми ANSYS, що дозволяють аналізувати напружений стан як плоских, так і об'ємних моделей. Пакет ANSYS/AutoFEA 3D інтегрований у середовище AutoCAD і Autodesk Mechanical Desktop і дозволяє конструктору в інтерактивному режимі оцінити міцність, твердість, форми власних коливань і частоти при будь-якій модифікації вихідної конструкції. При цьому всі турботи про точність, застосовуваність того чи іншого кінцевого елемента система бере на себе, конструктору необхідно тільки задати зовнішні навантаження, закріплення та вказати питання на які він хотів би одержати відповіді. Результати роботи представляються в наочної, зручної для аналізу формі. За бажанням можна подивитися розподіл еквівалентних напруг, оцінити деформований стан, одержати надлишки міцності (рис.11.20) [32].

ANSYS/AutoFEA 3D має власне вікно, що складається з трьох панелей. На першій панелі відбивається дерево аналізу моделі. З нижньої панелі конструктор вибирає необхідні інструменти для задання характеристик матеріалу, самої моделі, зовнішніх умов, граничних умов і навантажень, варіантів аналізу конструкції. У центральній панелі відбиваються результати роботи й з'являються підказки, якщо пропущений який-небудь етап формування умов для розрахунку. Для того, щоб почати роботу з ANSYS/AutoFEA 3D з нижньої панелі необхідно вибрати тип аналізу - визначення напружено-деформованого стану чи частотний аналіз. Після цього в лівій панелі з'являється новий проект і модель готува до розрахунку, що складається з чотирьох етапів. На першому етапі визначаються характеристики проекту - інформація про модель, ким вона створена й в якому відділі.



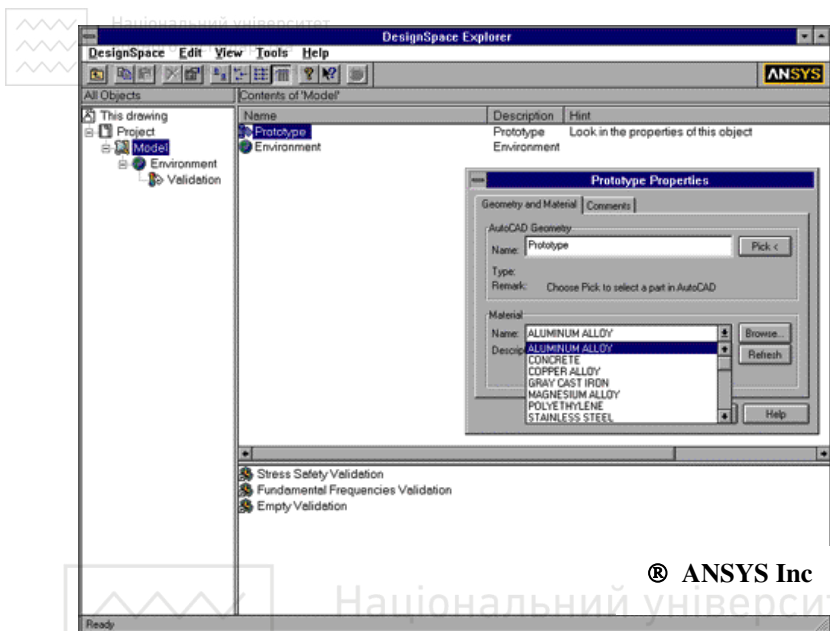
® ANSYS Inc

Рис.11.20. Визначення точності розрахунку і системи одиниць

Другий етап - визначення розрахункової моделі (рис.11.21). Вказується точність розрахунку, система одиниць, тип матеріалу, зовнішні фактори. Ними можуть бути прискорення і температури. Також необхідно задати аналізований елемент конструкції. Характеристики матеріалу зберігаються в базі даних, причому користувач може сам додати необхідні йому дані, змінити існуючі (рис.11.22).

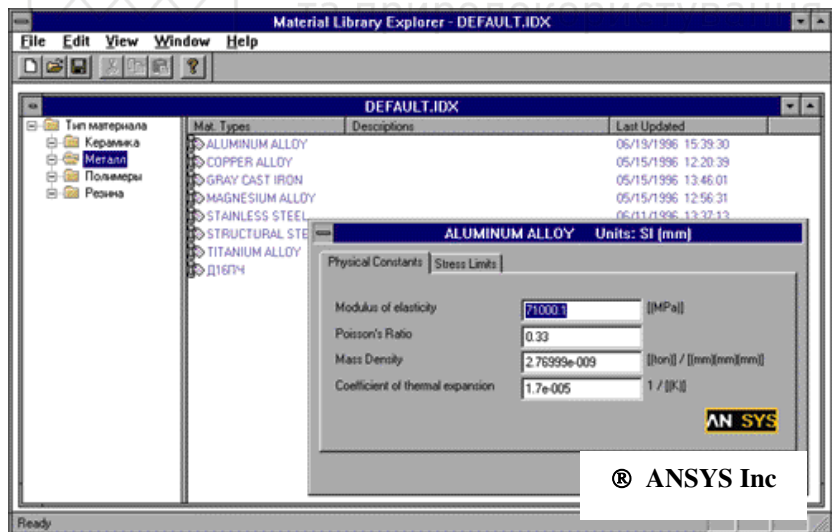
На третьому етапі конструктор задає навантаження і граничні умови, вибираючи необхідні інструменти з нижньої панелі. Після того як зовнішні умови визначені вони відбиваються на центральній панелі (рис. 11.23).

Останній, четвертий етап пов'язаний з розрахунком і візуалізацією результатів. У процесі розрахунку система аналізує отримані дані, готує розрахункову схему й робить розрахунок за методом кінцевих елементів. Після того, як конструкція розрахована, на центральній панелі з'являються сумарні характеристики міцності й тих інструментів, які вказав конструктор (рис. 11.24).



® ANSYS Inc

Рис.11.21. Вибір матеріалу і моделі конструкції



® ANSYS Inc

Рис.11.22. Бібліотека матеріалів

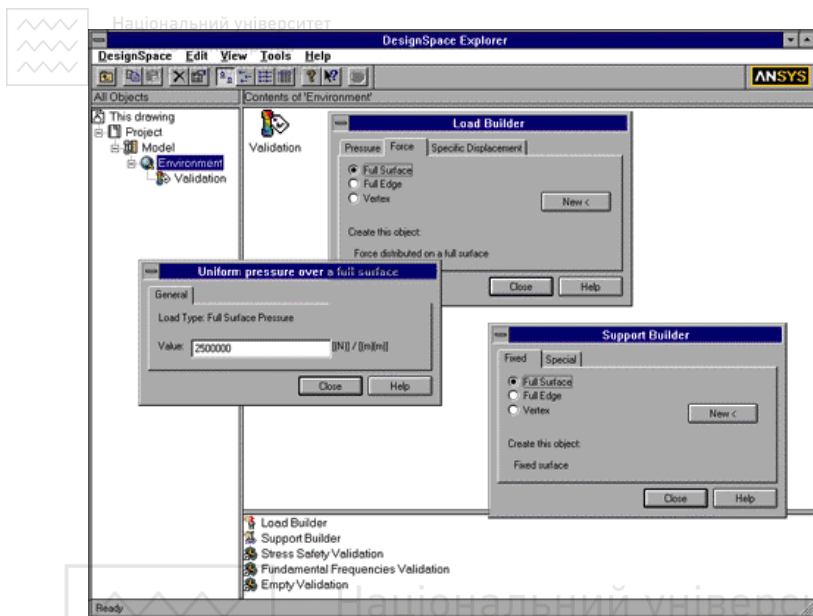


Рис.11.23. Визначення зовнішніх навантажень і граничних умов

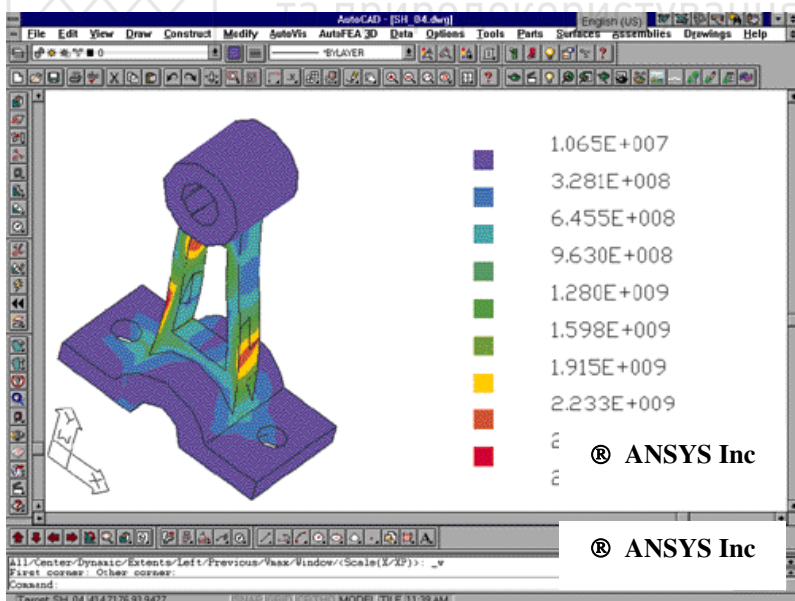


Рис.11.24. Результати розрахунку - розподіл еквівалентних напруг



Вибираючи той чи інший внутрішній силовий фактор, конструктор може відобразити його на екрані й проаналізувати відповідність отриманих напруг, переміщень тощо значенням, що допускаються. Система ANSYS/AutoFEA 3D дозволяє не тільки розраховувати напружено-деформований стан окремої конструкції, але й робити порівняння різних варіантів конструкції, що значно полегшує і підкажує конструктору яку форму вибрати та як розподілити матеріал у виробі.

### 11.3. Система моделювання поведінки механізмів під впливом діючих навантажень *Dynamic Designer Motion*

Одним зі стратегічних партнерів Autodesk у рамках MAI ініціативи є австралійська компанія Design Technologies Int., що займається розробкою програмного забезпечення для розрахунку кінематики, динаміки й аналізу 3-х мірних механізмів і стрижневих конструкцій [32].

Програмний пакет Dynamic Designer Motion дозволяє моделювати поведінку механізмів, що проектується під впливом діючих навантажень. Dynamic Designer Motion дозволяє не тільки виконувати розрахунки з кінематики й динаміки, але й моделювати поведінку механізму під час його роботи в будь-який момент часу з одержанням необхідних розрахункових характеристик. Повна інтеграція пакета Dynamic Designer Motion у середовище AutoCAD і Autodesk Mechanical Desktop дозволяє розроблювачу звертатися до розрахункових операцій безпосередньо під час створення нових конструкцій. Це сприяє вибору найбільш оптимального рішення. Для розрахунку можуть використовуватися будь-які 3D моделі, створені засобами Mechanical Desktop чи AutoCAD. До них відносяться поверхні AutoSurf, тверді моделі AME, параметричні моделі AutoCAD Designer. Dynamic Designer Motion дозволяє також виконувати широке коло дизайнерських задач, далеко виходячи за рамки простого аналізу 3-х мірних конструкцій і їхньої анімації. Тому пакет Dynamic Designer Motion знайшов широке застосування у всіляких областях.

Основними складовими в Dynamic Designer Motion є модулі:

- **Modeller** - задання механізму та його деталей, визначення кінематичних зв'язків, навантажень і параметрів їхнього відтворення;
- **Solver** - виконання числових розрахунків;
- **Results Viewer** - аналіз результатів розрахунку, включаючи анімацію, що відтворює рух.

#### 11.3.1. Робота з Modeller

На цьому етапі виконується об'єднання в єдину конструкцію окремих деталей. Для зборки конструктор викликає різні моделі і, описуючи їх розташування одна відносно одної, автоматично одержує готову конструкцію

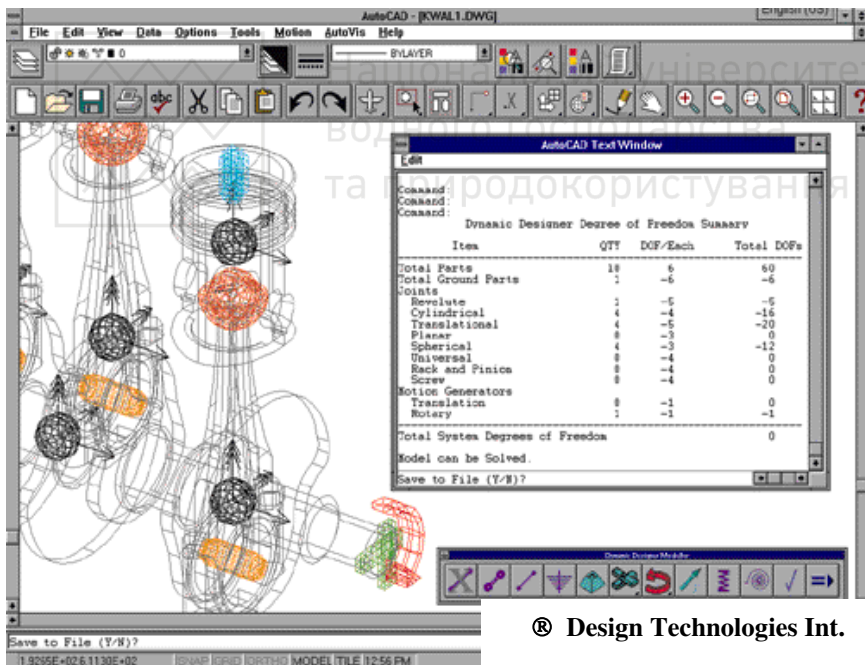


для розрахунку кінематики та динаміки. Деталям механізму призначаються інерційно-масові характеристики та визначаються типи кінематичних зв'язків і з'єднань (кінематичних пар). Modeller підтримує різноманітні типи таких зв'язків і з'єднань. До них відносяться: поступальне, обертальне, площинне, циліндричне, сферичне, гвинтове, рейкове, універсальне.

Передбачено можливість відтворення кулачків і інших типів вищих кінематичних пар через 2 види контакту: точка/крива, де точка на одній деталі підтримує контакт з кривою на іншій деталі, а також задання наступних типів сил, що змінюються в часі, і моментів:

- лінійні пружини та пружини крутіння;
- лінійні демпфери (амортизатори) і крутіння;
- активні й активно/реактивні сили та моменти;
- ударні сили.

За допомогою Modeller виконується задання генераторів поступального й обертального руху. Вихідні параметри руху можуть бути визначені у вигляді графіків (рис. 11.25).



® Design Technologies Int.

Рис.11.25. Механізм зі встановленими зв'язками між деталями та прикладеними навантаженнями

Після виконання всіх установок і задання параметрів, система аналізує конструкцію на число ступенів свободи й при одержанні негативних результатів від конструктора буде необхідно прийняти рішення по заміні зв'язків для вивільнення необхідної кількості ступенів свободи. Звичайно, можна проаналізувати і варіант, при якому в механізмі неминуче відбудеться розрив зв'язку.

Після створення складальної конструкції, конструктор задає точність обчислень і визначає характер розрахунків (кількість положень механізму, що потрібно розрахувати, які параметри визначити тощо). Підтримка формату системи ADAMS, дозволяє використовувати інший препроцесор для Dynamic Designer Motion, а також виводити результати розрахунку у форматі системи ADAMS.

У Dynamic Designer Motion можна розраховувати статичний стан, статичний стан спокою, виконувати динамічний і статико-динамічний аналіз багатоланкового (багатодетального) механізму. Об'єктно-орієнтований алгоритм і високий рівень математичного рішення дозволяє швидко одержати результат, навіть для складних механізмів. Якщо перед розроблювачем стоїть задача вибору оптимального рішення, то в цьому випадку можна виконати декілька варіантів розрахунку для різних модифікацій механізму. У цьому випадку доцільне виконання розрахунків в інтерактивному чи пакетному режимі з вказанням часу. Ця процедура може бути виконана автономно, без участі конструктора.

### **11.3.3. Робота з Results Viewer**

Одержавши результати обчислень, конструктор приймає остаточне рішення. Якщо він задав декілька положень механізму для розрахунку, то можна не тільки розглянути й проаналізувати ці окремі положення, але й виконати анімацію за допомогою AutoVision. Під час анімації наочно демонструється поведінка всіх вузлів механізму та зміна інерційних характеристик, що є зручним для порівняння значень розрахункових параметрів різних деталей (рис. 11.26).

Результати розрахунків можуть бути представлені в такий спосіб:

- графічне зображення переміщення та векторів швидкості й прискорення з урахуванням їх величин у будь-якій точці будь-якої деталі;
- побудова діаграми для будь-якої деталі всіх прикладених і розрахункових сил;
- одержання XY-графіків усіх розрахункових величин;
- анімація руху механізму в режимі дротової моделі, з видаленням невидимих ліній у реалістичному вигляді;
- використання AutoVision для реалістичної анімації руху;
- аналіз перетинання та зіткнення деталей у повному діапазоні руху (для деталей створених засобами AME і AutoCAD Designer);
- відображення траєкторії руху для будь-якої точки деталі;



Національний університет

- відображення положення механізму в заданий момент часу;
- підтримка декількох наборів результатів для збереження історії проектування.

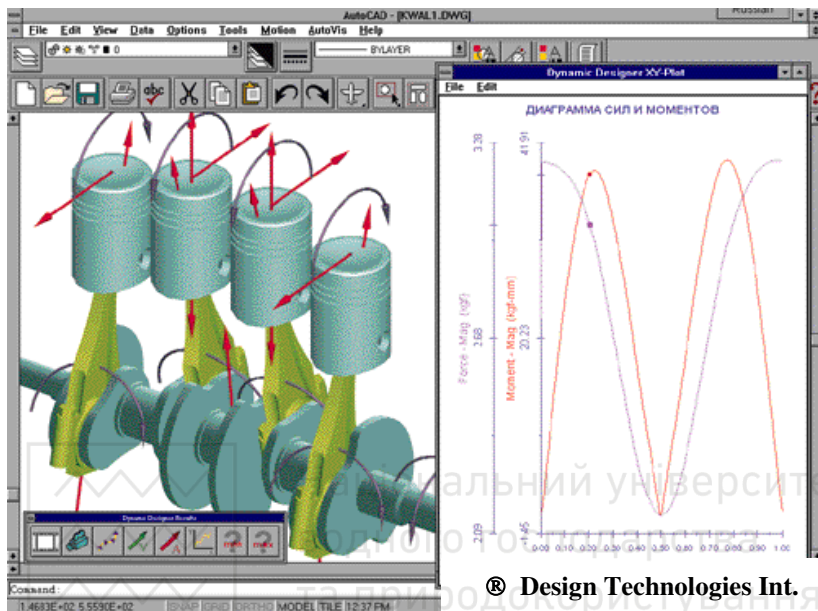


Рис.11.26. Динамічне представлення колінчатого вала та поршневої групи

#### 11.4. Система підготовка керуючих програм для верстатів із ЧПУ та виготовлення виробів *SURFCAM*

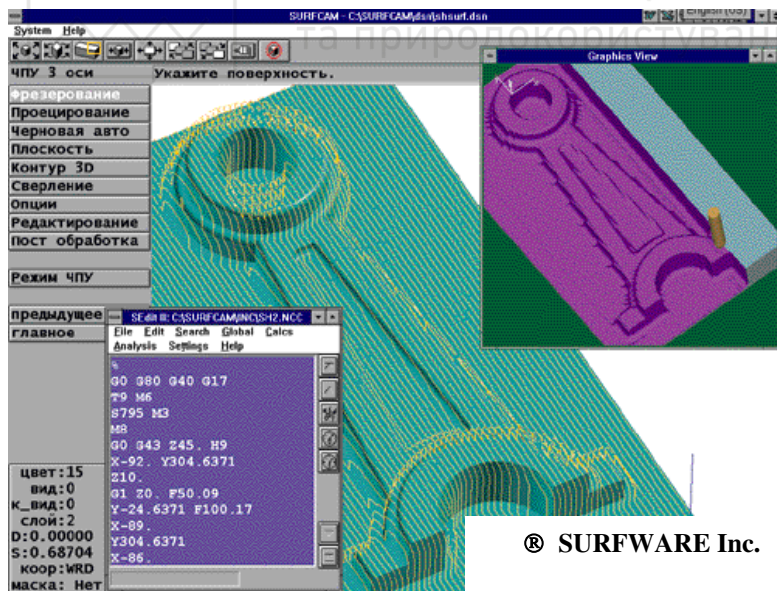
Останньою технологічною ланкою в наскрізний CAD/CAM/CAE технології є підготовка керуючих програм для верстатів із ЧПУ і виготовлення виробів. Тут партнерами Autodesk є декілька компаній, що пропонують CAM системи різного класу, інтегровані в Autocad, Mechanical Desktop, що працюють як незалежні системи. Найбільш яскравим представником останніх є американська фірма SURFWARE Inc. - розроблювач CAD/CAM системи SURFCAM для персональних комп'ютерів [32].

SURFCAM дуже ефективно вирішує задачі проектування моделей різного ступеня складності на основі NURBS-поверхонь і підготовки керуючих NC-програм для 2 - 5 координатних верстатів із ЧПУ. SURFCAM знайшов широке застосування в модельному виробництві та виготовленні технологічного оснащення (виробництво моделей, електродів для пропалюван-

ня фасонних частин прес-форм і в інших областях), забезпечуючи генерування керуючих програм для різних видів обробки: токарна, електроерозійна, фрезерна, лазерна тощо.

Інтерфейс системи SURFCAM спеціально розроблений для інженерів-технологів, що займаються підготовкою виробництва машинобудівних деталей. SURFCAM надає користувачу ефективний інструмент, що полегшує конструювання поверхневої моделі виробу й одержання фотореалістичного зображення моделі деталі. Для цих цілей у SURFCAM включений модуль поверхневого моделювання - SURFCAM NURBS, що містить велике меню функцій для побудови та редагування поверхонь: підрізання, еквидистантні поверхні, подовження, зкруглення поверхонь з постійним і перемінним радіусом, об'єднання декількох поверхонь чи сплайнів, з'єднання та проектування моделей на поверхню, масштабування з різними коефіцієнтами по X, Y і Z, ряд інших корисних функцій (рис. 11.27).

За кресленням моделі розроблювач може швидко відтворити поверхню для обробки. Сама модель створюється безпосередньо в середовищі SURFCAM чи може бути отримана через файл обміну графічними даними з іншими CAD/CAM системами завдяки інтерфейсам IGES, AutoCAD (DXF), Cadkey (CADL), MicroStation (DGN) і формату для стереолітографії (STL). Крім того передбачається можливість зчитування даних із прототипу моделі (робота з копіром).



® SURFWARE Inc.

Рис.11.27. Траектория ruchu інструмента для моделі шатуна з генерацією кодів верстата з ЧПУ



Моделюючи обробку однієї чи безлічі поверхонь, SURFCAM допоможе розроблювачу визначити оптимальний діаметр інструмента для конкретної поверхні та проконтролювати можливість зарізання і підрізів у моделі при обробці внутрішніх частин моделі й кишень. Це виключає поломку інструмента об поверхню заготовки. Великі й різноманітні бібліотеки SURFCAM. Користувачу пропонуються бібліотеки матеріалів, інструменту і державок (патронів) інструменту. Всі вони відкриті для змін і доповнень.

Встановивши точність обробки (за висотою гребінців) й вибравши інструмент, автоматично обчислюється крок і режим обробки. Окремі частини моделі можуть бути оброблені різним інструментом. При генерації загальної програми відбудеться редагування й об'єднання траєкторій руху інструменту. У SURFCAM автоматично формуються списки використовуваних інструментів, застосовуваних матеріалів, а також розраховується час обробки на верстаті.

Зручність і логічність інтерфейсу SURFCAM полегшує роботу. Найбільше вражає виконання динамічного 3-х мірного обертання, зумірування, панорамування та зміни виду під час процесу генерації траєкторії руху інструменту при обробці деталей і одержання фотореалістичного зображення деталей високої якості.

Вибір методу обробки залежить від технологічного устаткування, що є в розпорядженні розроблювача. Оскільки діапазон технологій, що пропонуються, дуже великий, то SURFCAM адаптований для передачі даних у різні обробні центри і верстати, включаючи найсучасніші (стереолітографія). Маючи великий набір готових постпроцесорів (понад 300) і налаштувавши систему на конкретний верстат можна одержати траєкторію руху інструменту й перетворювати її в коди системи ЧПУ з одержанням NC-програми в APT-форматі. У SURFCAM передбачена можливість розробки нових постпроцесорів на основі універсального інваріантного постпроцесора.

SURFCAM представлений у модульному виконанні для генерації керуючих програм 2, 3, 4 і 5 координатних верстатів. Це дозволяє при придбанні вибирати необхідний модуль у залежності від наявного устаткування.



Можливості розробки сучасних комплексних рішень, що інтегрують різні САПР - від “легких” (AutoCAD, CADDy) до “важких” (CATIA, Unigraphics, Pro/Engineer), істотно розширилися з появою нової лінії програмних продуктів “середнього” рівня - PT/Products. Уперше перед працівниками в машинобудуванні користувачами AutoCAD і CADDy виникла “спокуса”, випробувати якісно іншу технологію проектування на персональному комп’ютері, що реально використовує наскрізну параметризацію, що забезпечує вихід на станки з ЧПУ [32].

Ядро системи - PT/Modeler, надає засоби тривимірного об’єктно-орієнтованого твердотільного моделювання з наскрізною параметризацією та двонаправленою асоціативністю. PT/Modeler - поліпшена версія Pro/JR с підтримкою функцій OLE і двонаправленим транслятором з AutoCAD. Додаткові переваги в розширенні функцій системи реалізовані у вигляді приєднання додаткових модулів для механообробки, фотореалістичного тонування, обміну даними, інтеграції з іншими прикладними програмами.

Система відноситься до сімейства програм Pro/Engineer - світового лідера ринку CAD/CAM/CAE - і призначена для автоматизації конструкторських і технологічних процесів. PT/Products дозволяє здійснити перехід від систем двовимірного проектування до систем “високого” рівня CAD/CAM/CAE/PDM.

До складу PT/Products входять наступні системи.

Система **PT/Modeler** призначена для тривимірного об’єктно-орієнтованого (feature-based) твердотільного моделювання; складних зборок, кількість складальних одиниць і окремих деталей у збірці залежить тільки від конфігурації платформи. Табличне керування збіркою, візуалізація й підтримка обміну даними, наскрізна параметризація та двонаправлена асоціативність на базі єдиної структури бази даних продукту. Остання дозволяє вносити зміни на будь-якій стадії роботи, причому ці модифікації автоматично відбиваються на усіх відповідних етапах проекту – твердотільній моделі, збірці, підзбірці, конструкторської документації тощо. Система розроблялася з урахуванням специфіки роботи конструктора й тому є інтуїтивно зрозумілою, простою для вивчення та застосування.

**PT/Products Manufacturing Applications.** Модулі механообробки представлені у вигляді PT/MILL і PT/TURN, у яких використаний параметричний об’єктно-орієнтований підхід для підготовки керуючих програм для верстатів із ЧПУ, виходячи з твердотільної моделі, створеної в PT/Modeler. За допомогою цих модулів генерується траєкторія руху ріжучого інструменту та моделюються процеси механообробки. При зміні геометрії моделі автоматично перегенеруються траєкторії ріжучого інструменту.

**PT/Render.** Модуль для фотореалістичного відображення моделей, виконаних за допомогою PT/Modeler.



Національний університет

**PT/ImportTools.** Модуль призначений для полегшення розв'язування задач перетворення інженерних даних з інших CAD/CAM-програм у формат PT/Modeler. PT/ImportTools дозволяє встановити причини й усунути проблеми, що виникають при конвертуванні 3D-поверхонь і твердих тіл у формат PT/Modeler.

**PT/Developer ToolKit** використовується для створення власного програмного оточення PT/Products. Використовуючи його, користувачі можуть розробляти власний інтерфейс, макроси для автоматизації додатків, а також інтегрувати в середовище PT/Products свої програми чи додатки інших систем.

**PT/LibraryAccess.** Доступ до бібліотеки PT/BasicLibrary чи до будь-якої іншої корпоративної бібліотеки стандартних деталей і зборок.



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування





## **12. СИСТЕМИ ДЛЯ ВЕКТОРИЗАЦІЇ ТА ОБРОБКИ СКАНОВАНИХ ЗОБРАЖЕНЬ**

### **12.1. Система автоматично перетворення сканованих растрових зображень у векторні рисунки САПР І ГІС КОМПАС-Vectory**

Система КОМПАС-Vectory - визнаний лідер серед програм, автоматичного перетворення сканованих растрових зображень у векторні рисунки САПР і ГІС [33].

Основні характеристики КОМПАС-Vectory:

- перетворення машинобудівельних, архітектурних та інших типів растрових креслень у векторний формат на 50-90% швидше, ніж при ручному відколюванні на дигитайзері;
- підтримує всі розповсюджені растрові формати;
- зводить до мінімуму “чищення” рисунка, надає можливість автоматичного видалення растрового сміття, згладжування кривих і інші глобальні засоби підготовки растра;
- не вимагає втручання оператора - при пакетній обробці за декілька годин можна векторизувати десятки креслень великих форматів;
- поставляється з готовими наборами параметрів для ефективного розпізнавання зображень різної структури;
- розпізнає та ідентифікує кола, дуги, розмірні та штрихові лінії, тексти;
- автоматично продовжує та об'єднує об'єкти;
- знаходить точки дотикання й гладко сполучає векторні об'єкти;
- розумно інтерпретує перетини.

Після перетворення растрового образу креслення у векторний файл Ви зможете завантажити його в КОМПАС-ГРАФІК 5, щоб виконати необхідне чи редагування використовувати креслення в новому проекті.

### **12.2. КОМПАС-Spotlight (спеціальна версія системи Spotlight фірми Consistent Software)**

Цей програмний продукт надає користувачу можливість надзвичайно простого растрового редагування в сполученні з функціональністю векторного, реалізуючи гібридну (растрово-векторну) технологію, що, в свою чергу дає змогу компенсувати помилки растра, що виникли при скануванні через погану якість вихідних матеріалів. Конструктор може виправити все креслення за допомогою однієї команди замість того, щоб редагувати окремо кожне зображення окремих деталей. Використовуючи КОМПАС-Spotlight, можна вирівнювати растрове зображення, видаляти растрове

КОМПАС-Spotlight надає можливість інтерактивної конвертації растра в векторний формат безпосередньо в процесі редагування. При редагуванні отриманих об'єктів змінюється растрове креслення й одночасно створюється його векторна копія.

Отримане гібридне (растрово-векторне) зображення можна потім без втрат цілісності вивести на плотер чи відредагувати.



241



### **12.3. КОМПАС-Spotlight Pro (об'єднана версія КОМПАС-Vectority і КОМПАС-Spotlight)**

В даній версії інтегровані всі функції автоматичної векторизації. Фактично це растровий САПР, оскільки користувач зможе з його допомогою виконувати безліч креслярських операцій. При цьому для користувача не буде істотним, у якому форматі підготовлені дані - у растровому чи векторному [33].

Можливості автоматичної векторизації в цій об'єднаній системі цілком відповідають аналогічним можливостям продукту КОМПАС-Vectority.

### **12.4. Відмінності систем КОМПАС-Vectority і КОМПАС-Spotlight від прототипів**

Ці відмінності вкрай незначні. Оскільки дані продукти орієнтовані насамперед на спільне застосування з КОМПАС-ГРАФІК 5, у них виключена підтримка експорту інформації у формати систем AutoCAD і CADdy. Результати роботи зберігаються у файлі формату VC4, якому можна потім імпортувати в КОМПАС-ГРАФІК 5 (до складу системи додана бібліотека читання цього формату). Крім того, не підтримується вставка символів і форм системи AutoCAD (\*.SHX), а також створення текстових написів з використанням шрифтів AutoCAD. Всі інші функціональні можливості в точності відповідають можливостям систем-прототипів.

Якщо ж користувач застосовує одночасно кілька різних систем САПР (наприклад, AutoCAD і КОМПАС), і для нього важлива можливість зв'язувати кожну з них із системами векторизації та гібридного редагування, він може скористатись базовими системами Vectority, Spotlight чи Spotlight Pro, що цілком забезпечать рішення такої задачі



## ЛІТЕРАТУРА:

1. Энкарначчо Ж., Шлехтендаль Э. Автоматизированное проектирование: основные понятия и архитектура систем.- М.: Радио и связь, 1986.- 287с.
2. Фурунджиев Р.И., Гугля В.А., Фурунджиев Р.И. САПР, или как ЭВМ помогает конструктору. - Минск: Вышэйш. шк., 1987. – 204 с.
3. Корячко В.П., Курейчик В.П., Норенков И.П. Теоретические основы САПР.- М.: Энергоатомиздат, 1987. - 400с.
4. Петренко А.И., Семенов О.И. Основы построения систем автоматизированного проектирования.- К.: Вища школа, 1986.- 294с.
5. Справочник по САПР / Под.ред. В.И.Скурихина. - К.: Техніка, 1988.- 375с.
6. Шенен П, Коснар М., Гардан И. и др. Математика и САПР Книга 1.- М.: Мир, 1988. -204 с.
7. CD “CAD/CAM/CAE/AEC/GIS/EDM Consistent Software Library”, vol.2
8. CAD/CAM/CAE КОМПАС-ГРАФИК 5. Видання Міжнародного центру інформаційних технологій INT.- К., 1999.
9. CD “Библиотека АСКОН 1999, выпуск 3”.- С.-Петербург.: АО АСКОН, 1998.
10. CD “ Библиотека АСКОН 1999, выпуск 4, сентябрь ’99”.- С.-Петербург.: АО АСКОН, 1999.
11. Николаева И. “КОМПАС-3D - система, которую ждали”.- // САПР и графика.- 1999.- № 8.
12. Панченко В. Проектирование металлоконструкций в КОМПАС-ГРАФИК // САПР и графика.- 2000.- № 2.
13. CAD/CAM/CAE UNIGRAPHICS SOLUTIONS. Видання Міжнародного центру інформаційних технологій INT.- К., 1999.
14. CD “CAD/CAM/CAE/AEC/GIS/EDM. Consistent Software Library. Vol.2.” Системы автоматизированного проектирования высокого уровня. Pro/ENGINEER”
15. CAD/CAM/CAE SOLID EDGE. Видання Міжнародного центру інформаційних технологій INT.- К., 1999.
16. Вермель В., Зарубин С., Николаев П. ГеММа-3D, версия 6.0: водораздел DOS-WINDOWS // САПР и графика.- 1999.- № 4.
17. Вермель А. Моделирование сложных поверхностей в системе ГеММа-3D,- САПР и графика.- 1998.- № 12.
18. Автоматизация измерений в системе ГеММа-3D // САПР и графика.- 1997. №7.
19. Дубровин А. ГеММа-3D демонстрирует свои возможности // САПР и графика.- 1998.- № 7.
20. ГеММа-3D, Версия 6.0: Возможности обработки // САПР и графика.- 1998.- № 9.

21. Техническое и художественное гравирование в системе ГеММа-3D // САПР и графика.- 1998.- № 9.
22. Вермель В., Николаев П. ГеММа-3D, версия 6.0: Новые функциональные и технологические возможности // САПР и графика.-1998.-№ 9.
23. Андриченко А.Н. Комбинированный метод автоматизированного проектирования технологических процессов изготовления деталей резанием: Дис. канд. техн. наук. - М., 1990. - 121 с.
24. Андриченко А.Н. Проектирование групповых технологий на микро-ЭВМ // Авиационная промышленность. - 1991. - № 1.
25. Андриченко А.Н. САПР технологических процессов АВТОПРОЕКТ ЭВМ // Авиационная промышленность. - 1991. - № 1.
26. Синский А. DOCS Open - пакет для построения // Компьютер-инфо. - № 10.-1997.
27. Синский А. DOCS Open: маршрутизация документов и контроль работ// Компьютер-инфо.- 1997.- № 11.
28. Синский А. Как раз и навсегда навести порядок в электронных документах // PC Week.- 1997.- № 28-29.
29. CD "Библиотека АСКОН 2000, апрель".- С.-Петербург.: АО АСКОН, 2000.
30. Ширяев М. Прикладні рішення на основі системи PDM Part'97 // САПР і графіка.- 1999.- № 4.
31. CD "Библиотека АСКОН 2000, апрель" Информационные материалы по системе инженерных расчетов APM WinMachine", - С.-Петербург.: АО АСКОН, 2000.
32. В.Д.Локтев, В.И.Лысухин, А.Б.Николаев, В.В.Савушкин. Сквозные CAD/CAM/CAE технологии в машиностроении.
33. CD "Эффективные решения CAD/CAM. Библиотека АСКОН, том 1". - С.-Петербург.: АО АСКОН, 1997.



<b>ПЕРЕДМОВА</b>	3
<b>ВСТУП</b>	10
<b>СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ</b>	14
<b>РОЗДІЛ 1. Параметрична креслярсько-конструкторська система КОМПАС-5 для Windows</b>	14
1.1. Загальні відомості про САПР “КОМПАС-5”	14
1.2. Склад КОМПАС-5	17
1.2.1. Креслярсько-конструкторський редактор КОМПАС-ГРАФІК (версія 5)	17
1.2.2. Параметричні можливості в КОМПАС-ГРАФІК – 5.4	20
1.2.3. Конструкторські додатки до КОМПАС-5 та набір бібліотек	21
1.2.3.1. Машинобудівна бібліотека (версія 5)	21
1.2.3.2. Бібліотека елементів гідравлічних і пневматичних схем	22
1.2.3.3. Бібліотека елементів електричних схем (версія 5)	23
1.2.3.4. Бібліотека елементів кінематичних схем (версія 5)	24
1.2.3.5. КОМПАС-МЕНЕДЖЕР (версія 5)	24
1.2.3.6. Система проектування специфікацій (версія 5)	25
1.2.3.7. Засоби розробки додатків КОМПАС-МАСТЕР (версія 5)	27
1.2.3.8. Бібліотека проектування тіл обертання КОМПАС-SHAFT (версія 5)	27
1.2.3.9. Бібліотека проектування циліндричних гвинтових пружин КОМПАС-SPRING	28
1.2.3.10. Архітектурно-будівельна бібліотека (версія 5)	28
1.2.3.11. Бібліотека елементів сантехніки (версія 5)	29
1.2.3.12. Бібліотека елементів технологічного оснащення	30
1.2.3.13. Бібліотеки підтримки форматів DXF і IGES (версія 5)	30
1.2.3.14. Система КОМПАС-ШТАМП	30
1.2.3.15. КОМПАС-ГРАФІК- 5 LT	31
1.3. Принципи роботи в КОМПАС-5	32
1.3.1. Типи документів КОМПАС	32
1.3.2. Інтерфейс користувача	32
1.4. Новий модуль системи – КОМПАС-3D	34
1.4.1. Порядок роботи при створенні моделі	35
1.4.2. Інтерфейс системи	39
1.4.3. Параметричні властивості деталі	41
1.4.4. Редагування моделі	42
1.4.5. Сервісні можливості	43
1.4.6. Утиліта перегляду	44
1.4.7. Підтримка технології OLE	44
1.4.8. Обмін інформацією з іншими системами	45
1.5. Проектування металоконструкцій у КОМПАС-ГРАФІК	45



1.5.1. Формування профілів.....	46
1.5.2. Формування вузлів.....	47
1.5.3. Контроль конструкції.....	50
1.5.4. Підготовка робочої документації.....	51
1.5.5. Заміна профілю.....	52

## СИСТЕМИ ПАРАМЕТРИЧНОГО ТВЕРДОТІЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ .....

54

### РОЗДІЛ 2. Провідна технологія твердотільного моделювання важко- го класу *Unigraphics* .....

54

2.1. Можливості моделювання в Unigraphics Solutions.....	54
2.2. Сумісність з іншими системами САПР .....	55
2.3. Випуск креслярсько-конструкторської документації.....	56
2.4. Механообробка деталей складних форм.....	57
2.5. Додатки системи UNIGRAPHICS .....	57
2.5.1. Проектування .....	57
2.5.2. Механообробка .....	589
2.5.3. Інженерний аналіз .....	58
2.5.4. Спеціальні додатки .....	58
2.6. Модулі системи UNIGRAPHICS .....	60
2.6.1. Модуль UG/Solid Modeling .....	60
2.6.2. Модуль UG/Features Modeling .....	60
2.6.3. Модуль UG/Freeform Modeling .....	61
2.6.4. Модуль UG/User-Defined Features .....	62
2.6.5. Модуль UG/Drafting .....	63
2.6.6. Модуль UG/Assembly Modeling .....	63
2.6.7. Модуль UG/Advanced Assemblies .....	64
2.6.8. Модуль UG/CAM Base .....	64
2.6.9. UG/Postprocessor .....	65
2.6.10. Модуль UG/Lathe .....	65
2.6.11. Модуль UG/Variable-Axis Milling .....	65
2.6.12. Модуль UG/Planar Milling .....	66
2.6.13. Модуль UG/Core & Cavity Milling .....	67
2.6.14. Модуль UG/Fixed-Axis Milling .....	68
2.6.15. Модуль UG/Flow Cut .....	68
2.6.16. Модуль UG/Sequential Milling .....	70
2.6.17. Модуль UG/Genius .....	70
2.6.18. Модуль VERICUT .....	70
2.6.19. Модуль UG/Wire EDM .....	71
2.6.20. Модуль UG/Unisim .....	71
2.6.21. Пре- і постпроцесор UG/GFEM PLUS .....	72
2.6.22. Модуль UG/Mechanisms .....	72
2.6.23. Додаток UG/GFEM FEA .....	73



2.6.24.	Модуль UG/Scenario .....	73
2.6.25.	Модуль UG/MF-Flowcheck .....	73
2.6.26.	Модуль UG/Open .....	74
РОЗДІЛ 3. Система автоматизованого проектування високого рівня		75
<b>Pro/ENGINEER</b> .....		
3.1.	Модулі системи Pro/ENGINEER .....	76
3.1.1.	Модуль Pro/DETAIL .....	76
3.1.2.	Модуль Pro/SHEETMETAL .....	77
3.1.3.	Модуль Pro/CASTING .....	78
3.1.4.	Модуль Pro/COMPOSITE .....	79
3.1.5.	Модуль Pro/MOLDESIGN .....	79
3.1.6.	Модуль Pro/CABLING .....	79
3.1.7.	Модуль Pro/PIPING .....	81
3.1.8.	Модуль Pro/MANUFACTURING .....	83
РОЗДІЛ 4. Система твердотільного параметричного моделювання середнього класу <b>Solid Edge</b> .....		85
4.1.	Загальна характеристика системи Solid Edge .....	85
4.1.1.	Автоматичний вибір елементів .....	85
4.1.2.	Засіб "Інтелектуальний" ескіз .....	86
4.1.3.	Точна геометрія "від руки" .....	86
4.1.4.	Точний ввід .....	86
4.1.5.	Скорочення циклу розробки .....	87
4.1.6.	Поліпшення якості .....	87
4.1.7.	Повна автоматизація .....	88
4.1.8.	Повна інтеграція .....	89
4.2.	Модулі системи Solid Edge .....	89
4.2.1.	Модуль Solid Edge Part + Solid Edge Sheet Metal .....	89
4.2.2.	Модуль Solid Edge Draft (Креслення) .....	91
4.2.3.	Модуль Solid Edge Assembly (Складальне креслення) .....	92
РОЗДІЛ 5. <b>SolidWorks</b> - система параметричного твердотільного моделювання .....		96
5.1.	Користувачський інтерфейс .....	96
5.2.	Створення ескізу .....	97
5.3.	Бібліотеки стандартних елементів .....	98
5.4.	Створення складальних креслень .....	98
5.5.	Підготування презентаційних матеріалів по виробу .....	99
5.6.	Генерація креслень .....	100
5.7.	Інтерфейс з зовнішніми системами .....	101
5.8.	Вимоги до апаратних засобів .....	101
5.9.	Інженерні додатки до SolidWorks .....	101
5.9.1.	Toolbox/SE для SolidWorks .....	101
5.9.2.	MSC/NASTRAN для Windows v. 4.0 і MSC/InCheck. ....	102



MSC/NASTRAN для Windows .....	104
5.9.3. COSMOS/Works .....	105
5.9.4. DesignWorks .....	106
5.9.5. DesignSpace для SolidWorks .....	108
5.9.6. Interactive PreAssembly 4.0 .....	109
5.9.7. Part Adviser .....	110
5.9.8. RevWorks –система введення даних із 3D-дигітайзера .....	111
5.9.9. CamWorks .....	111

## **СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЮ ПІДГОТОВКОЮ ВИРОБНИЦТВА .....**

113

### **РОЗДІЛ 6. Система програмування обробки на станках з ЧПУ**

113

<b>ГеММа 3D .....</b>	113
6.1. Загальні відомості про систему ГеММа-3D.....	113
6.2. Моделювання складних поверхонь в системі ГеММа-3D.....	116
6.3. Способи побудови поверхонь в системі ГЕММА-3D .....	121
6.4. Можливості обробки деталей в системі ГеММа-3D .....	126
6.4.1. Технологічні можливості програмування фрезерної розробки в системі ГеММа-3D версії 6.0 .....	127
6.4.2. Чотирьох - і п'яти-координатна фрезерна обробка .....	128
6.4.3. Токарна обробка .....	129
6.4.4. Гравіювання .....	129
6.4.5. Перетворення траєкторії обробки .....	130
6.4.6. Введення технологічних спряжень .....	130
6.4.7. Відображення результатів обробки .....	130
6.4.8. Нові можливості ГеММа-3D версії 6.0. ....	130

### **РОЗДІЛ 7. Система автоматичної підготовки керуючих програм для 3/4 -координатної фрезерної обробки на верстатах з ЧПУ**

<b>PowerMILL 2 .....</b>	136
7.1. Короткий опис пакета .....	136

## **СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ .....**

139

### **РОЗДІЛ 8. Система автоматизованого проектування технологічних процесів АВТОПРОЕКТ 8.1 для Windows 95/98/NT .....**

139

8.1. Загальні відомості про систему Автопроект 8.1 .....	139
--	-----

### **РОЗДІЛ 9. Системи документообігу підприємства .....**

149

9.1. Система документообігу підприємства <i>DOCS Open</i> .....	149
---	-----


9.1.1. Принципи роботи в DOCS Open .....	156
--	-----

9.1.2. Особливості інженерного документообігу в DOCS Open .....	157
---	-----

9.2. RxEDM - електронний документообіг для робочих груп і невеликих підприємств .....	158
---	-----

9.2.1. Призначення пакету RxEDM .....	158
---------------------------------------	-----

9.2.2.	База даних креслень і документів RxIndex .....	160
9.2.3.	Технічні характеристики RxIndex .....	160
9.2.4.	RxHighlight - програма перегляду й анотування електронних документів .....	161
9.2.5.	Технічні характеристики RxHighlight .....	161
<b>ДОДАТКИ ДО СИСТЕМ CAD/CAM/CAE .....</b>		<b>163</b>
Розділ 10. Інженерно розрахункові додатки САПР .....		163
10.1.	Система розрахунків зубчастих, черв'ячних, ланцюгових та пасових передач GEARS.....	163
10.2.	Система інженерних розрахунків MSC/NASTRAN і Working Model для SolidWorks .....	163
10.3.	Система проектування прес-форм MoldWorks .....	164
10.3.1.	Функціональні можливості MoldWorks .....	165
10.3.2.	Переваги використання MoldWorks .....	165
10.4.	Автоматизована система керування інформацією про виріб PartY .....	166
10.4.1.	Основні можливості PartY .....	166
10.4.2.	Користувачі системи PartY .....	167
10.5.	Прикладні рішення на основі системи PDM Part'97 .....	168
10.6.	Система інженерних розрахунків APM WinMachine .....	174
10.6.1.	Підсистеми APM WinMachine .....	176
10.6.1.1.	Машинобудування .....	176
10.6.1.2.	Будівництво .....	202
10.7.	САПР розкрою листового матеріалу ИНТЕХ для DOS .....	205
Розділ 11. Наскрізнi CAD/CAM/CAE технології в машинобудуванні .....		206
11.1.	Система наскрізного автоматизованого проектування, конструювання, аналізу й виготовлення виробів у машинобудуванні на базі <i>Autodesk Mechanical Desktop</i> .....	206
11.1.1.	Система машинобудівного конструювання <i>GENIUS</i> .....	211
11.1.2.	Система створення простих параметричних моделей <i>GENIUS-Vario</i> .....	220
11.1.3.	Система напівавтоматичного отримання ізометричного виду деталі <i>GENIUS TNT</i> .....	223
11.1.4.	Модулі <i>GENIUS Sheet-Metal</i> одержання моделей з тонколистового металу .....	224
11.2.	Система аналізу конструкцій на міцність методом кінцевих елементів <i>ANSYS/AutoFEA</i> .....	228
11.3.	Система моделювання поведінки механізмів під впливом діючих навантажень <i>Dynamic Designer Motion</i> .....	232
11.3.1.	Робота з <i>Modeller</i> .....	232
11.3.2.	Робота з <i>Solver</i> .....	234

	Національний університет водного господарства та природокористування	
11.3.3.	Робота з Results Viewer .....	234
11.4.	Система підготовка керуючих програм для верстатів із ЧПУ та виготовлення виробів <i>SURFCAM</i> .....	235
11.5.	Нова CAD/CAM-система PT/Products .....	238
Розділ 12.	Системи для векторизації та обробки сканованих зображень .....	240
12.1.	Система автоматично перетворення сканованих растрових зображень у векторні рисунки САПР і ГІС КОМПАС- VECTORY .....	240
12.2.	КОМПАС-Spotlight (спеціальна версія системи Spotlight фір- ми Consistent Software) .....	240
12.3.	КОМПАС-Spotlight Pro (об'єднана версія КОМПАС-Vector і КОМПАС-Spotlight) .....	242
12.4.	Відмінності систем КОМПАС-Vector і КОМПАС-Spotlight від прототипів .....	242
<b>ЛІТЕРАТУРА</b> .....		243
<b>ЗМІСТ</b> .....		245



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

Навчальне видання

*Олександр Артемович Сиротинський*

## **ОСНОВИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЕКТУВАННЯ МАШИН**



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

**Навчальний посібник**

Друкується в авторській редакції

Підписано до друку                      р. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Папір друкарський № 1. Гарнітура Times. Друк трафаретний.  
Ум.-друк.арк. 15,62. Тираж 170 прим. Зам. № .

*Редакційно-видавничий центр Українського державного університету  
водного господарства та природокористування*

*33000, Рівне, вул.Соборна, 11*